



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS
PASTILLAS DE FRENO CERÁMICAS, SEMIMETÁLICAS Y
ORGANICAS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE FRENADO
BAJO LA NORMATIVA ECE – 13H”**

TRABAJO DE TITULACIÓN:
TIPO: PROYECTO EXPERIMENTAL

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

CÉSAR GEOVANNY MUÑOZ MAINATO
CRISTIAN EDUARDO CALLE MOROCHO

Riobamba – Ecuador

2020



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS
PASTILLAS DE FRENO CERÁMICAS, SEMIMETÁLICAS Y
ORGANICAS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE FRENADO
BAJO LA NORMATIVA ECE – 13H”**

TRABAJO DE TITULACIÓN:
TIPO: PROYECTO EXPERIMENTAL

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: CÉSAR GEOVANNY MUÑOZ MAINATO;
CRISTIAN EDUARDO CALLE MOROCHO

DIRECTOR: Ing. EDER LENIN CRUZ SIGUENZA

Riobamba – Ecuador

2020

© 2020, César Geovanny Muñoz Mainato; & Cristian Eduardo Calle Morocho

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de los Autores.

Nosotros, César Geovanny Muñoz Mainato & Cristian Eduardo Calle Morocho, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 20 de agosto de 2020

César Geovanny Muñoz Mainato
030268996-3

Cristian Eduardo Calle Morocho
030289221-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Experimental “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS PASTILLAS DE FRENO CERÁMICAS, SEMIMETÁLICAS Y ORGANICAS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE FRENADO BAJO LA NORMATIVA ECE – 13H”, realizado por los señores: **CÉSAR GEOVANNY MUÑOZ MAINATO** y **CRISTIAN EDUARDO CALLE MOROCHO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2020-08-20
Ing. Eder Lenin Cruz Siguenza DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION	_____	2020-08-20
Ing. Víctor David Bravo Morocho MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	2020-08-20

DEDICATORIA

El trabajo de titulación está dedicado de manera especial para mi familia que me supo apoyar en este trayecto de formación profesional, de manera especial a mi Mamá María.

A mi abuelito que está en el cielo por brindarme la sabiduría para entender la realidad de la vida.

A mi hija que ha sido un pilar fundamental para poder salir adelante y llegar a esta etapa de mi vida.

A mis tíos que de una u otra manera me han apoyado siempre en lo que he necesitado en el trascurso de mi formación académica.

Geovanny

El presente trabajo de titulación está dedicado primeramente a Dios por haberme permitido culminar con éxito mi preparación académica.

A mi familia, especialmente a mis padres que han sido el pilar fundamental, apoyándome incondicionalmente en el cumplimiento de mis metas.

A mi esposa e hijo, quienes son mi mayor inspiración para salir adelante revisar espaciados

Cristian

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera sincera a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la facultad de Mecánica, y la familia Automotriz, maestros y compañeros que me han apoyado para poder graduarme como un profesional.

A mi tutor y demás compañeros por otorgarme los conocimientos necesarios para el desarrollo de la presente tesis.

Geovanny

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida y haberme dado sabiduría en todo el proceso académico.

A mis padres por haber estado a mi lado apoyándome, económicamente y también con sus sabios consejos de superación.

A mi esposa e hijo por estar día a día motivándome a salir adelante y ser una mejor persona.

A la institución y tutores por haberme guiado y apoyado con sus conocimientos, para así junto a mi compañero llegar a cumplir nuestras metas.

Cristian

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
INDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Seguridad del vehículo	5
<i>1.1.1 Seguridad Activa.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Seguridad Pasiva</i>	<i>6</i>
1.2 Sistema de frenado de un automóvil	6
<i>1.2.1 Cualidades del sistema de frenos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.1.1 Seguridad</i>	<i>7</i>
<i>1.2.1.2 Progresividad.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.1.3 Eficacia</i>	<i>7</i>
<i>1.2.1.4 Regularidad.....</i>	<i>7</i>
1.3 Tipos de Frenos.....	7
<i>1.3.1 Sistema de Frenos de Tambor.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1.1 Tipos de frenos de tambor</i>	<i>8</i>
<i>1.3.2 Sistema de Frenos de Disco.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.2.1 Características de los frenos de disco</i>	<i>10</i>
<i>1.3.2.2 Componentes de los frenos de disco.....</i>	<i>10</i>
1.4 Pastillas de Frenos.....	13
<i>1.4.1 Cualidades de las pastillas de frenos.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4.2 Tipos de Pastillas de Frenos.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4.2.1 Pastillas orgánicas.....</i>	<i>15</i>
<i>1.4.2.2 Pastillas Semimetálicas</i>	<i>15</i>
<i>1.4.2.3 Pastillas cerámicas.....</i>	<i>16</i>
<i>1.4.3 Composición de las pastillas de frenos.....</i>	<i>17</i>

1.4.3.1	<i>Cargas minerales</i>	17
1.4.3.2	<i>Componentes metálicos</i>	17
1.4.3.3	<i>Materiales orgánicos</i>	17
1.4.3.4	<i>Abrasivos</i>	17
1.4.3.5	<i>Fibras</i>	17
1.4.3.6	<i>Lubricantes o modificadores de coeficiente</i>	18
1.4.4	<i>Componentes de las pastillas de frenos</i>	18
1.4.4.1	<i>Soporte</i>	18
1.4.4.2	<i>Laminas anti ruido</i>	19
1.4.4.3	<i>Avisadores de desgaste</i>	19
1.4.4.4	<i>Material de fricción</i>	20
1.5	<i>Tribología</i>	21
1.5.1	<i>Fricción</i>	21
1.5.2	<i>Desgaste</i>	22
1.5.3	<i>Lubricación</i>	22
1.6	<i>Distancia de parada</i>	22
1.6.1	<i>Progresión del Frenado</i>	23
1.6.1.1	<i>Distancia de reacción</i>	23
1.6.1.2	<i>Distancia de frenado</i>	24
1.7	<i>Momentos y fuerzas en el frenado</i>	26
1.7.1	<i>Fuerza de Frenado</i>	26
1.7.2	<i>Fuerza de los Neumáticos</i>	26
1.7.2.1	<i>Fuerza Tangencial (F_U)</i>	27
1.7.2.2	<i>Fuerza Normal (F_N)</i>	27
1.7.2.3	<i>Fuerza Lateral (F_S)</i>	27
1.7.3	<i>Fuerza de fricción</i>	28
1.7.4	<i>Resistencia a la rodadura</i>	28
1.7.5	<i>Resistencia Aerodinámica</i>	29
1.7.6	<i>Resistencia del par motor y la transmisión.</i>	29
1.8	<i>Comportamiento térmico de las pastillas de frenos.</i>	29
1.8.1	<i>Transferencia de calor</i>	30
1.8.1.1	<i>Energía despidida por el sistema de frenos.</i>	30
1.8.1.2	<i>Calor generado en el sistema de frenos</i>	31
1.8.1.3	<i>Fallas en las pastillas de frenos</i>	31
1.9	<i>Normativa para la regulación de pastillas de frenos y distancia de frenado.</i>	32
1.9.1	<i>RTE INEN 034</i>	33

1.9.2	<i>NTE INEN 2185</i>	33
1.10	Hipótesis	34
1.10.1	<i>Variable de la hipótesis</i>	34
1.10.1.1	<i>Variable independiente</i>	34
1.10.1.2	<i>Variable dependiente</i>	34

CAPITULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	35
2.1	Introducción	35
2.2	Tipo de investigación	35
2.2.1	<i>Investigación Bibliográfica</i>	35
2.2.2	<i>Investigación Experimental</i>	36
2.2.3	<i>Investigación exploratoria</i>	36
2.3	Alcance de la investigación	36
2.4	Técnicas y recolección de datos según el Reglamento ECE 13 – H	36
2.4.1	<i>Categoría de los vehículos</i>	37
2.4.2	<i>Selección y características técnicas del Vehículo</i>	38
2.4.3	<i>Selección de calzada</i>	39
2.4.4	<i>Selección de pastilla de freno</i>	41
2.4.4.1	<i>Pastilla Bosch de composición orgánica</i>	41
2.4.4.2	<i>Pastilla Premium semimetálica</i>	41
2.4.4.3	<i>Pastilla Litton cerámica</i>	42
2.4.5	Ensayos y recolección de datos	43
2.4.5.1	<i>Consideraciones generales</i>	43
2.4.5.2	<i>Ensayo Tipo 0</i>	43
2.4.5.3	<i>Ensayo de tipo 1</i>	44
2.4.5.4	<i>Procedimiento de los ensayos</i>	45
2.5	Recolección y procesamiento de datos	46
2.5.1	<i>Carta de lecturas individuales I-MR (Para datos variables)</i>	46
2.6	Procedimiento experimental	47

CAPITULO III

3	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	48
3.1	Análisis microscópico de las pastillas de freno	48

3.1.1	<i>Pastilla orgánica</i>	48
3.1.2	<i>Pastilla semimetálica</i>	50
3.1.3	<i>Pastilla cerámica</i>	51
3.2	Verificación de las condiciones de las pruebas de frenado.	52
3.2.1	<i>Preparación del vehículo de pruebas</i>	53
3.2.1.1	<i>Mantenimiento y cambio de pastillas</i>	53
3.2.1.2	<i>Estado de los neumáticos</i>	53
3.2.1.3	<i>Peso en el vehículo</i>	54
3.2.1.4	<i>Seguridad</i>	55
3.2.2	<i>Temperatura ambiente.</i>	55
3.2.3	<i>Temperatura inicial de frenado</i>	55
3.2.4	<i>Calzada</i>	56
3.3	Ejecución del ensayo a 100 km/h	56
3.3.1	<i>Tabulación de datos</i>	56
3.3.2	<i>Análisis estadístico</i>	58
3.3.2.1	<i>Comprobación de datos</i>	58
3.3.2.2	<i>Análisis de varianza</i>	62
3.4	Desarrollo de los ensayos a 50 km/h	64
3.4.1	<i>Tabulación de datos</i>	64
3.4.2	<i>Análisis estadístico</i>	66
3.4.2.1	<i>Comprobación de datos</i>	66
3.4.2.2	<i>Análisis de varianza</i>	70
3.5	Prueba de hipótesis	72
3.5.1	<i>Modelo matemático</i>	72
3.5.2	<i>Nivel de significancia</i>	72
3.5.3	<i>Discusión y decisión</i>	72
3.5.3.1	<i>Discusión</i>	72
3.5.3.2	<i>Decisión</i>	73
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES	75
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Cualidades de las pastillas de frenos	14
Tabla 2-1:	Ventajas y desventajas de Pastillas de frenos Orgánicas.	15
Tabla 3-1:	Ventajas y desventajas de Pastillas de frenos Semimetálicas.	16
Tabla 4-1:	Ventajas y desventajas de Pastillas de frenos Cerámicas	16
Tabla 5-1:	Clasificación del coeficiente de fricción según DOT	22
Tabla 6-1:	Distancia de detención en diferentes condiciones.	25
Tabla 7-1:	Coeficiente de adherencia de los estados de la calzada y del neumático.	28
Tabla 8-1:	Clasificación del coeficiente de fricción de las pastillas de frenos	34
Tabla 1-2:	Desaceleración Media.	39
Tabla 2-2:	Ficha Técnica Chevrolet Aveo Family.	39
Tabla 3-2:	Características de la calzada	40
Tabla 4-2:	Maneras de realizar el ensayo tipo 0	44
Tabla 5-2:	Procedimiento para calentar las pastillas de frenos	44
Tabla 6-2:	Procedimientos de los ensayos de frenado	445
Tabla 1-3:	Composición química de las pastillas orgánicas	49
Tabla 2-3:	Composición química de las pastillas semimetálicas	51
Tabla 3-3:	Composición química de las pastillas cerámicas.	52
Tabla 4-3:	Características de los neumáticos.	53
Tabla 5-3:	Pesos considerados en el ensayo	54
Tabla 6-3:	Datos de las pastillas de frenos tipo orgánica.	57
Tabla 7-3:	Datos de las pastillas de frenos tipo semimetálica.	57
Tabla 8-3:	Datos de las pastillas de frenos tipo cerámica.	58
Tabla 9-3:	Muestras Totales	62
Tabla 10-3:	Análisis de la Varianza (SC tipo III)	62
Tabla 11-3:	Test Duncan para la distancia de frenado	62
Tabla 12-3:	Muestras Totales	63
Tabla 13-3:	Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	63
Tabla 14-3:	Test Duncan para Temperatura máxima de frenado	63
Tabla 15-3:	Datos de las pastillas de frenos tipo orgánica.	65
Tabla 16-3:	Datos de las pastillas de frenos tipo semimetálica.	65
Tabla 17-3:	Datos de las pastillas de frenos tipo cerámica.	66
Tabla 18-3:	Muestras Totales	70
Tabla 19-3:	Análisis de la Varianza (SC tipo III)	70

Tabla 20-3: Test Duncan para la distancia de frenado	70
Tabla 21-3: Muestras Totales	70
Tabla 22-3: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III).....	71
Tabla 23-3: Test Duncan para Temperatura máxima de frenado.....	71
Tabla 24-3: Tabla de resumen	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Elementos de seguridad activa	5
Figura 2-1:	Elementos de seguridad pasiva.....	6
Figura 3-1:	Tipos de frenos.....	8
Figura 4-1:	Sistema de freno de tambor	8
Figura 5-1:	Sistema de freno de disco	9
Figura 6-1:	Bomba de freno	10
Figura 7-1:	Depósito de líquido de freno	11
Figura 8-1:	Tubería de líquido de freno	11
Figura 9-1:	Líquido de freno	12
Figura 10-1:	Pinza de freno.....	12
Figura 11-1:	Discos de freno.....	13
Figura 12-1:	Pastilla de freno.....	13
Figura 13-1:	Soporte	19
Figura 14-1:	Lamina anti ruido	19
Figura 15-1:	Avisadores de desgaste.....	20
Figura 16-1:	Material de fricción	20
Figura 17-1:	Fuerzas que actúan en el proceso de frenado.....	25
Figura 18-1:	Fuerzas en el neumático	27
Figura 19-1:	Cristalización de las pastillas de frenos	32
Figura 20-1:	Desgaste asimétrico de las pastillas	32
Figura 1-2:	Chevrolet Aveo 1.5	38
Figura 2-2:	Ubicación geográfica de la calzada.	40
Figura 3-2:	Pastillas de freno Bosch de composición orgánica	41
Figura 4-2:	Pastilla de freno imfrisa de composición semimetálica.	42
Figura 5-2:	Pastillas de freno Litton de composición cerámica.....	42
Figura 6-2:	Proceso de realización de la investigación.....	47
Figura 1-3:	Micrografía - pastillas orgánicas	48
Figura 2-3:	Micrografía - pastillas semimetálicas	50
Figura 3-3:	Micrografía - pastillas cerámicas.....	51
Figura 4-3:	Profundidad de labrado del neumático	54
Figura 5-3:	Temperatura inicial de frenado.....	55
Figura 6-3:	Calzada de asfalto grueso	56
Figura 7-3:	Distancia de frenado a 50 km/h	64

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Composición de las pastillas de frenos	18
Gráfico 2-1:	Comparación de estabilidad del factor de fricción	21
Gráfico 3-1:	Distancia de parada	22
Gráfico 1-2:	Pendiente de la calzada	40
Gráfico 2-2:	I – MR en función del tiempo	47
Gráfico 1-3:	Composición química de las pastillas orgánicas	49
Gráfico 2-3:	Composición química de las pastillas semimetálicas	50
Gráfico 3-3:	Composición química de las pastillas cerámicas.....	52
Gráfico 4-3:	Distancia de frenado con pastillas orgánicas.....	59
Gráfico 5-3:	Temperatura de las pastillas de frenos orgánicas	59
Gráfico 6-3:	Distancia de frenado con pastillas semimetálicas.....	60
Gráfico 7-3:	Temperatura de las pastillas de frenos semimetálicas	60
Gráfico 8-3:	Distancia de frenado con pastillas cerámicas	61
Gráfico 9-3:	Temperatura de las pastillas de frenos cerámicas.....	61
Gráfico 10-3:	Resultado de las pruebas a 100 km/h	64
Gráfico 11-3:	Distancia de frenado con pastillas orgánicas.....	67
Gráfico 12-3:	Temperatura de las pastillas de frenos orgánicas	67
Gráfico 13-3:	Distancia de frenado con pastillas semimetálicas.....	68
Gráfico 14-3:	Temperatura de las pastillas de frenos semimetálicas	68
Gráfico 15-3:	Distancia de frenado con pastillas cerámicas	69
Gráfico 16-3:	Temperatura de las pastillas de frenos cerámicas.....	69
Gráfico 17-3:	Resultado de las pruebas a 50 km/h	71

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** REGLAMENTO N° 13-H DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA DE LAS NACIONES UNIDAS “DISPOSICIONES UNIFORMES SOBRE LA HOMOLOGACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE TURISMO EN LO RELATIVO AL FRENADO”
- ANEXO B:** RTE INEN 034 "ELEMENTOS MINIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES"
- ANEXO C:** NTE INEN 2185 “MATERIAL DE FRICCIÓN PARA EL SISTEMA DE FRENOS DE AUTOMOTORES, REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO”
- ANEXO D:** ANUARIO AEADE, CIFRAS DE VEHICULOS VENDIDOS EN ECUADOR
- ANEXO E:** FOTOGRAFÍAS

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento térmico de las pastillas de frenos de tipo orgánica, semimetálica y cerámica en función de la distancia de frenado acogido a normas internacionales. Se identifica la formulación química de cada una de ellas mediante micrografía. La experimentación se realiza a partir de la selección del vehículo de las categorías M₁, N₁ basado en estadísticas de la AEADE y la selección de pastillas de frenos comerciables en el mercado ecuatoriano que cumplan la Normativa INEN 2185, los cuales se someten a pruebas de frenado, su procedimiento y la selección de los parámetros necesarios para las pruebas de frenado están basados en la regulación ECE 13 – H constatando los estándares mínimos que ahí se detallan, los datos son recolectados mediante un pirómetro y almacenados para su análisis estadístico con el fin de determinar el comportamiento de la temperatura que se genera en las pastillas de frenos con los distintos tratamientos obteniendo una variación de 34,49°C en la tipo orgánica, 48,64°C en la semimetálica y 52,98°C en la cerámica. Para validar el experimento se realiza un análisis de comparación múltiple mediante ADEVA a los datos de temperatura y distancia de frenado de los tratamientos, teniendo como resultado una probabilidad \leq a 0,0001 para la validación de la hipótesis nula, afirmando así, la hipótesis alternativa, siendo los datos fiables y validando el estudio. Se concluye que las pastillas de tipo cerámica ofrecen mejores prestaciones con una temperatura de 78,92°C al frenar a una velocidad de frenado de 50 km/h y de 127,56°C a una velocidad de frenado de 100 km/h, obteniendo una distancia de frenado eficiente a diferentes velocidades iniciales de frenado y de esta manera recomendando utilizar las pastillas de tipo cerámica que garantizan la seguridad de los ocupantes del vehículo.

Palabras clave: <SISTEMA DE FRENOS>, <PASTILLA DE FRENO>, <DISTANCIA DE FRENADO>, <MICROGRAFÍA>, <COEFICIENTE DE FRICCIÓN>.

SUMMARY

The aim of this research was to analyze the thermal behavior of organic, semi-metallic and ceramic brake pads as a function of the stopping distance according to international standards. The chemical formulation of each of them is identified by micrography. The experimentation is carried out from the selection of the vehicle of the categories M1, N1. It is based on statistics from the AEADE and the selection of marketable brake pads in the Ecuadorian market that comply with the INEN 2185 Regulation. These pads are subjected to braking tests, the procedure and the selection of the necessary parameters for the braking tests are based on the ECE 13 - H regulation, verifying the minimum standards that are detailed there. The data is collected by means of a pyrometer and stored for statistical analysis to determine the behavior of the temperature generated in the brake pads with the different treatments. A variation of 34.49 °C in the organic type, 48.64 °C in the semi-metallic type and 52.98 °C in the ceramic was obtained. To validate the experiment, a multiple comparison analysis is performed using ADEVA to the temperature and stopping distance data of the treatments. The result is a probability ≤ 0.0001 for the validation of the null hypothesis. Thus, the alternative hypothesis was affirmed, the data was reliable, and the study validated. It is concluded that ceramic-type pads offer better performance with a temperature of 78.92 °C when braking at a braking speed of 50 km/h and 127.56 °C at a braking speed of 100 km/h, it was obtained an efficient braking distance at different initial braking speeds. It is recommending the use of ceramic type pads that guarantee the safety of the vehicle occupants.

Keywords: <BRAKE SYSTEM>, <BRAKE PAD>, <BRAKING DISTANCE>, <MICROGRAPHY>, <COEFFICIENT OF FRICTION>.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Con la evolución del automóvil se tuvo la necesidad de tener un sistema que logre detener al vehículo parcial o totalmente. En un inicio el sistema de frenos fue incorporado a los vehículos de tracción por caballos donde se usaba un mecanismo llamado zapata que tenía una incidencia directamente sobre las ruedas posteriores de esta manera la velocidad disminuía debido a la fricción. (Aranguren, 2017)

En el año 1887 se usa la primera pastilla de rozamiento la cual estaba constituida por fibras de algodón, pero no era eficiente, ya que perdía sus propiedades de rozamiento con elevadas temperaturas, viendo la necesidad de buscar nuevos materiales de fricción. Pocos años después se implementó el amianto para las pastillas de freno debido a su fácil construcción, también tenían una gran capacidad mecánica, elástica, buenas propiedades de rozamiento, una gran capacidad térmica y una gran capacidad de mezclarse con otros materiales, este descubrimiento sería la base fundamental para la creación de las pastillas hasta la época actual. (Roadhouse, 2020)

Por los años 1930 para obtener mayor capacidad de resistencia a las temperaturas, varios expertos en la materia iniciaron con la investigación de nuevos componentes con resina capaces de resistir temperaturas elevadas hasta obtener las pastillas que tenemos en nuestra actualidad. En 1950 debido a los análisis con resinas se obtuvo nuevas fórmulas de material de fricción, que ya estaban compuestas por pequeños fragmentos metálicos dando inicio a la llamada pastilla metálica las mismas que fueron usadas en la industria automotriz y aeronáutica. (Roadhouse, 2020)

Por los años 60 se buscaba remplazar al amianto debido al efecto nocivo que producía a las personas, también este material no era tan eficiente como un componente de fricción por lo que cada vez el precio iba aumentando al no ser un recurso renovable. Por esta razón se empezó a la utilización de fibras de carbón, sintéticas y de vidrio de esta razón en los años 70 se usó las pastillas semimetálicas. (Roadhouse, 2020)

Debido a que las pastillas semimetálicas son altos conductores térmicos hacia los elementos del sistema de freno no son recomendables para cualquier tipo de uso. Por los años 80 gracias a los avances tecnológicos de los vehículos 4 x 4 y los avances con la aerodinámica en el campo automotriz también se vio la necesidad de buscar un material que tenga la capacidad de disipar el

calor producido por la fricción, pero con una menor capacidad térmica que las pastillas semimetálicas para que no exista un sobrecalentamiento de los demás componentes (Hartma, 2017)

Planteamiento del Problema

En la Industria automotriz se comercializa diferentes tipos de pastillas de frenos que varía de acuerdo a su costo, procedencia y tipo de material. Entre los diversos tipos de pastillas de freno que se encuentran en el mercado están las semimetálicas, cerámicas y orgánicas. (Romero y Barahona, 2017)

Existen accidentes de tránsito por diversos motivos y uno de ellos son las fallas mecánicas en el sistema de frenos por la elevación de la temperatura producto de la fricción entre la pastilla y el disco de freno, causando los problemas comunes como: la cristalización, fisura del material de revestimiento, desprendimiento del material entre otros, estos problemas hacen que pierda las propiedades mecánicas, provocando así, un frenado ineficiente. (Tamayo Nieto 2016, p. 24).

Por esta razón para la industria automotriz la seguridad ha sido uno de los pilares más importantes en el desarrollo diferentes tipos de pastillas enfocándose en el desarrollo de nuevos materiales de fricción para alcanzar una mejor eficiencia y control del vehículo, de esta manera se logra reducir los accidentes (Tamayo Nieto 2016, p. 24).

Por lo tanto, es importante determinar si los diferentes tipos de pastillas que se usan, pueden provocar el mal funcionamiento del sistema de frenos sometidos a velocidades y estándares normalizados.

Justificación

En los últimos años el parque automotor nacional registra un incremento promedio anual del 11.03 % en el periodo 2008-2017 según la Agencia Nacional de Tránsito. (INEC, 2018)

Este incremento está relacionado con la actividad del subsector de repuestos y recambios, el cual es el encargado de distribuir los componentes necesarios que van a ser sustituidas en los vehículos, debido a la vida útil de las piezas y al desgaste o daño producido por un accidente, los componentes de mayor sustitución son: frenos, neumáticos, bombillas, batería, amortiguadores, lubricante y escobillas de limpiaparabrisas. (Cremades, 2016)

Entre los repuestos más importantes están los componentes del sistema de frenos como: mordazas, discos, pastillas y líquido de frenos. Que influye directamente en la seguridad activa del vehículo, por consecuencia garantizan la integridad de los pasajeros. (Orozco Cuautle, 2008)

En la actualidad existen diferentes tipos de pastillas de frenos como: semimetálicas, orgánicas y las cerámicas que son comercializadas en el mercado, cada tipo con características y propiedades mecánicas diferentes. Al momento de frenar se produce calor, aumentando la temperatura por fricción que depende del tipo de pastillas de freno (Cavan Barry, 2017)

El calor producido por el disco y la pastilla no se disipa rápidamente, esto depende de las características físicas de los elementos como: la conductividad térmica, densidad de los materiales, calor específico, difusividad térmica, cuando este calor se acumula puede afectar negativamente en su funcionalidad y afectar en la seguridad del sistema de frenos., ya que su principal objetivo es reducir parcial o totalmente la velocidad del vehículo. (Thermal study in three vented brake discs, using the finite element analysis, 2016)

La distancia de frenado de un vehículo está relacionada directamente con el coeficiente de fricción y la temperatura de trabajo de los diferentes tipos de pastillas de freno contra el disco, además influye la adherencia de los neumáticos contra el suelo, el peso del vehículo, entre otros aspectos. (Tamayo, 2016)

Siendo responsabilidad de los ingenieros automotrices dar a conocer a la sociedad las cualidades de los productos que se comercializan en Ecuador, realizando una comparación del comportamiento térmico de las pastillas cerámica, semimetálicas y orgánicas en función de la distancia de frenado, para determinar el tipo de pastilla de frenos con mejor eficiencia.

Objetivos

Objetivo general

- Analizar el comportamiento térmico de las pastillas de freno cerámicas, semimetálicas y orgánicas en función de la distancia de frenado bajo la Norma ECE 13 – H, mediante métodos comparativos y estadísticos para determinar la eficiencia del frenado en las pastillas a ser analizadas.

Objetivos específicos

- Investigar las propiedades de las pastillas de frenos cerámicas, semimetálicas, orgánicas y la incidencia en la distancia de frenado mediante artículos, libros, normas, para analizar la eficiencia del frenado.
- Acoplar un pirómetro para la adquisición de datos de la temperatura de las pastillas de frenos.
- Elaborar pruebas de frenado bajo la Norma ECE - 13H para comparar la eficiencia de las pastillas de frenos cerámicas, semimetálicas y orgánicas.
- Analizar los resultados obtenidos mediante un control estadístico del proceso de pruebas de frenado de acuerdo a la norma ECE - 13H.
- Identificar la pastilla de freno que tenga las mejores propiedades mecánicas para la seguridad de los ocupantes.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Seguridad del vehículo

Son todos los sistemas que permiten el desplazamiento seguro del vehículo en la calzada, también abarca los componentes que protegen y garantizan la integridad del conductor y sus acompañantes en caso de un accidente de tránsito. Actualmente existe la seguridad activa y pasiva que protege al vehículo y sus ocupantes. (Tamayo Nieto 2016, p. 24-25)

1.1.1 Seguridad Activa

Según (Calvo y Miravete 1997) citado en (Tamayo Nieto 2016, p. 26) la seguridad activa comprende los elementos que proporcionan eficacia y estabilidad del vehículo que se encuentra en movimiento, para en lo posible evitar o reducir los accidentes, entre los elementos más importantes dentro de la seguridad pasiva se encuentran el sistema de frenado, dirección, suspensión, estabilidad, iluminación, neumáticos, etc. En la figura 1-1 se muestra los elementos de la seguridad activa de un vehículo.



Figura 1-1: Elementos de seguridad activa

Fuente: (BMW, 2018)

1.1.2 Seguridad Pasiva

Son dispositivos y mecanismos que se accionan cuando se produce una colisión, reduciendo en lo mínimo los daños producto de un accidente inevitable, entre los elementos más importantes tenemos a la carrocería que absorbe el impacto, el cinturón de seguridad, reposacabezas, airbags, etc. (Tamayo Nieto, 2016, p. 26)

El airbag es uno de los componentes pasivos del automóvil que evitan lesiones al conductor y ocupantes, en la figura 2-1 se muestra la activación de este elemento.



Figura 2-1: Elementos de seguridad pasiva

Fuente: (CEA, 2019)

1.2 Sistema de frenado de un automóvil

En un vehículo uno de los sistemas más indispensables es el sistema de frenos ya que el mismo influye directamente en la seguridad del automóvil, al detener parcial o totalmente del vehículo, garantizando la integridad de los ocupantes. (Águeda et al, 2011, p. 456)

Un sistema de frenos debe ser eficaz, permisible y progresivo, para que la persona que conduzca pueda controlar el vehículo al momento de frenar, también pueda analizar y proyectar la parada correctamente, el funcionamiento del frenado se basa en la conversión de la energía cinética en calor, mediante la fuerza de fricción o rozamiento. (Águeda et al, 2011, p. 446)

1.2.1 Cualidades del sistema de frenos

Según Águeda Casado el sistema de frenos tiene que cumplir cualidades importantes para tener un frenado eficaz, las cuales se detallan a continuación:

1.2.1.1 Seguridad

En un vehículo es muy indispensable la seguridad de tal manera que deben de estar dispuestos de dos tipos de frenos un freno de servicio o de pie y otro freno de mano, estos deben lograr reducir la velocidad, detener totalmente y mantenerlo así en una inclinación de hasta 18%. El sistema debe disponer de dos circuitos independientes en caso de avería en una de las ruedas. (Águeda et al, 2011, p. 456)

1.2.1.2 Progresividad

La fuerza que se ejerce al pisar el pedal del freno debe ser proporcional a la frenada deseada. Es decir, si se requiere una menor distancia de frenado, mayor será la fuerza ejercida en el pedal de freno. (Águeda et al, 2011, p. 456)

1.2.1.3 Eficacia

La distancia de frenado de un automóvil tiene que ser razonable sin perder trayectoria, debe ocurrir sin que haya la necesidad de hacer mucho esfuerzo al presionar el pedal del freno. (Águeda et al, 2011, p. 456)

1.2.1.4 Regularidad

El conductor tiene que darse en cuenta del estado de su sistema de frenos en todo momento sin importar las condiciones de trabajo. (Águeda et al, 2011, p. 456)

1.3 Tipos de Frenos

En los últimos años los frenos más utilizados son de disco con mordazas y los de tambor con expansión interna, los dos tipos tiene la misma función que es detener el giro de la rueda y la diferencia entre ellas está en las piezas que caracterizan a cada una de ellas. (Orozco Cuautle, 2008, p. 24)



Figura 3-1: Tipos de frenos

Fuente: (Monroy, 2017)

1.3.1 Sistema de Frenos de Tambor

Los frenos de tambor son de tipo hidráulico, formado por un tambor, zapatas, muelles y un cilindro de doble efecto. El accionamiento del pedal de freno hace que todos los elementos móviles se desplacen mediante la presión del líquido de freno del provocando la fricción entre las zapatas y el tambor. (Domínguez Soriano, 2008)



Figura 4-1: Sistema de freno de tambor

Fuente: (López, 2019)

El tambor gira en conjunto con la masa, su finalidad es oponerse al movimiento de cada rueda para detener parcial o totalmente el vehículo.

1.3.1.1 Tipos de frenos de tambor

Sistema Simplex

Son frenos de tambor que generalmente van montadas en las ruedas traseras, las zapatas actúan sobre el tambor haciendo pivote en un extremo y empujado en el otro por un bombín con doble pistón, cada zapata funciona como primaria dependiendo el giro de la rueda. (Orozco Cuautle, 2008, p. 29)

Sistema Dúplex

Las zapatas están en serie, cada una hace pivote en la otra por medio de bombines fijos en cada extremo por lo que ambas se consideran primarias, es decir, las dos zapatas entran en contacto con la superficie del tambor de una manera más uniforme, alcanzando así un frenado más eficaz. (Orozco Cuautle, 2008, p. 29)

Sistema Twinplex

Este sistema es similar al sistema dúplex, con la diferencia que los puntos de apoyo son flotantes haciendo que la presión de las zapatas se distribuya de mejor manera contra el tambor, disminuyendo el efecto cuña. (Orozco Cuautle, 2008, p. 29)

1.3.2 Sistema de Frenos de Disco

Los frenos de disco casi en la mayoría de automóviles son utilizados en las ruedas delanteras, pero también se usa en las posteriores. Los frenos de discos tienen una gran ventaja en relación a los de tambor en la disipación del calor por lo que están expuestos al exterior también son mucho más progresivos por estas cualidades hoy en día se utiliza más lo que es el freno por discos. (Águeda et al, 2011, p. 456)



Figura 5-1: Sistema de freno de disco

Fuente: (Mitsubishi, 2020)

El funcionamiento del disco de freno básicamente es cuando el disco solidario el mismo que gira con la rueda está sometido a las fuerzas de fricción laterales que ejercen las pastillas de frenos de esta manera se transforma la fuerza cinética producida por el automóvil en calor produciéndose lo que se llama el frenado. (Gaibor y Núñez, 2014, p. 10)

1.3.2.1 Características de los frenos de disco

- Respuesta rápida y eficaz, permitiendo una menor distancia de frenado. (Vaca Solís, 2014)
- Permite la disipación del calor debido a una rápida circulación del aire por las dos caras del disco. (Vaca Solís, 2014)
- Ocupa menos espacio en comparación al sistema de frenos de tambor y desarrollan una gran potencia de frenado. (Vaca Solís, 2014)
- Mantenimiento rápido debido al fácil acceso a las pastillas. (Vaca Solís, 2014)
- Los ajustes de las pastillas de freno con respecto al disco son automáticas. (Vaca Solís, 2014)

1.3.2.2 Componentes de los frenos de disco

El sistema de frenos de disco está compuesto por diversos elementos que en conjunto tienen la función principal de disminuir la velocidad de las ruedas de una manera uniforme y progresiva hasta lograr detener el vehículo. (Águeda et al, 2011, p. 235)

Bomba de freno

Transforma la energía mecánica producida por el pie del conductor al momento de presionar el pedal de freno en presión hidráulica que es transmitida por conductos hasta llegar al actuador hidráulico. (Águeda et al, 2011, p. 235)

Según Gaibor y Núñez, la norma DIN 74000, establece que la bomba de frenos debe estar constituida por dos circuitos independientes para las ruedas anteriores y posteriores, en caso de pérdida de fluido en uno de los circuitos éste se volverá obsoleto, sin embargo, el otro circuito estará disponible para el frenado del vehículo, aunque no tendrá la eficacia deseada. (Gaibor y Núñez 2014)



Figura 6-1: Bomba de freno

Fuente: (Águeda et al, 2011, p. 241)

Depósito de líquido de freno

El depósito está ubicado y acoplado encima de la bomba, sirve para alimentar de líquido independientemente a los dos circuitos, en caso de fuga de líquido solo se vaciará el depósito de la parte en la que existe la pérdida evitando así la falla de todo el sistema de frenado. (Águeda et al, 2011, p. 244)

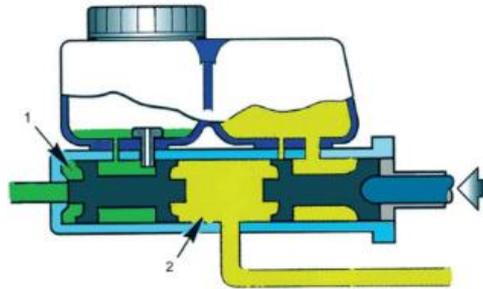


Figura 7-1: Depósito de líquido de freno

Fuente: (Águeda et al, 2011, p. 244)

Tuberías y latiguillos

Estos conductos son los encargados soportar la presión desde el cilindro maestro hasta el actuador, estas tuberías deben ser de un material que resista la presión y la temperatura del líquido, normalmente es de un acero recubierto de polímeros para evitar el óxido y la corrosión. (Águeda et al, 2011: pp. 246-247)



Figura 8-1: Tubería de líquido de freno

Fuente: (Hoffman, 2020)

Líquido de freno

Según (Águeda et al, 2011, p. 248) el líquido de frenos es el encargado de conducir la presión de frenado a lo largo de la tubería y lagartillos hasta llegar al actuador. El líquido está regulado por normas DOT donde debe cumplir con las siguientes características:

- Su viscosidad debe ser adecuado sin variaciones a diferentes rangos de temperatura. (Águeda et al, 2011, p. 248)
- Su temperatura de congelación debe ser relativamente baja y la de ebullición alta. (Águeda et al, 2011, p. 248)
- Capacidad de transmitir la presión sin generar burbujas. (Águeda et al, 2011, p. 248)
- Debe ser compatible con los demás elementos que entren en contacto. (Águeda et al, 2011, p. 248)
- Resistencia a la oxidación y al menos una duración de 100.000 km. (Águeda et al, 2011, p. 248)

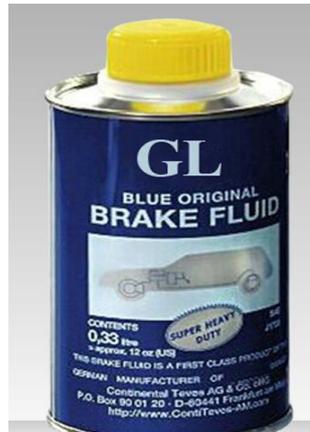


Figura 9-1: Líquido de freno

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

Pinzas de freno

Las pinzas de freno son las encargadas de sujetar a las pastillas de freno y sobre ellas están montadas el cilindro hidráulico en las mismas poseen unas entradas u orificios para el ingreso del líquido de freno y tan bien está alojada la purga las pinzas más comunes o más usadas son las pinzas: fijas flotantes y deslizantes. (Águeda et al, 2011, p. 237)



Figura 10-1: Pinza de freno

Fuente: (Autodoc, 2020)

Discos de frenos

Los Discos son de fundición gris nodular de grafito, gira solidaria a la rueda y soporta la fuerza que las pinzas ejercen sobre él. Su espesor y diámetro están relacionado con las prestaciones del vehículo, también es variable su composición y aleaciones según su esfuerzo de trabajo. (Gaibor y Núñez, 2014, p. 14)



Figura 11-1: Discos de freno

Fuente: (Águeda et al, 2011, p. 244)

1.4 Pastillas de Frenos

Las pastillas de frenos son elementos que, mediante la presión del pedal de freno, entra en contacto el material de revestimiento con la superficie del disco para disminuir la velocidad de giro de las ruedas.

Son muy importantes en la seguridad activa del vehículo y es una parte fundamental en el sistema de frenos, ya que entra en contacto con la superficie del disco provocando fricción para minorar la velocidad o detener el vehículo en su totalidad, debido a las altas temperaturas a las que se expone estas deben tener propiedades específicas, tanto físicas como químicas. (Águeda et al, 2012, p. 459).



Figura 12-1: Pastilla de freno

Fuente: (García, 2020)

Las pastillas deben garantizar un frenado óptimo y eficaz por lo que deben encontrarse en buen estado, estas deben tener un desgaste uniforme en toda la superficie de contacto con el disco. (Domínguez Soriano, 2008)

Para comprobar su estado se debe medir el espesor del material de fricción desmontando de la pinza, cuando el espesor es menor a 2,5mm se procede a remplazarlos esto garantiza una menor distancia de frenado de manera uniforme, caso contrario el sistema pierde eficiencia, debido a un rápido sobrecalentamiento. (Domínguez Soriano, 2008)

1.4.1 Cualidades de las pastillas de frenos

Para garantizar un frenado eficaz las pastillas deben cumplir con características que se detalla en la tabla 1-1:

Tabla 1-1: Cualidades de las pastillas de frenos

Cualidades de la pastillas de frenos
<ul style="list-style-type: none">• Deben de detener resistencia tanto a desgaste como a la abrasión.• Tener una resistencia aceptable al cizallamiento y al golpe, para que no sufra desprendimiento de material y deformaciones en su funcionamiento.• Todas las partes de la pastilla deben de tener la misma temperatura (estabilidad térmica).• Las pastillas deben de tener un rango de 2% a 5% de compresibilidad para que absorba de mejor manera las vibraciones e irregularidades con la superficie que entre en contacto.• Tener un coeficiente de fricción adecuado que este en el rango de las temperaturas y presiones a las que va estar sometidas.

Fuente: (Águeda et al, 2011, p. 239)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

1.4.2 Tipos de Pastillas de Frenos

Existen diferentes tipos de pastillas de frenos las cuales deben cumplir con las mismas especificaciones y características como tener una fricción adecuada para un frenado estable independientemente de la presión y de la temperatura de trabajo. (Velasteguí, 2015, pp. 37-38)

Las pastillas de frenos son sometidas a pruebas con diferentes tipos materiales para poder tener una pastilla de buena calidad, que no produzca impactos ambientales, como resultado de eso tenemos los siguientes tipos de pastillas:

1.4.2.1 Pastillas orgánicas

Las pastillas orgánicas tienen un coeficiente de fricción bueno, no producen ruido y trabajan mejor a bajas temperaturas puesto a que en altas temperaturas tienen un desgaste muy rápido. (Velasteguí, 2015, p. 37)

Estas pastillas solo cuentan de 10% a 20% de metal en su composición, el resto de material es de asbesto, fibras de vidrio, caucho, resinas de alta temperatura, entre otros compuestos orgánicos derivados de plantas, estos materiales no causan ralladuras ni daños al disco de frenos, pero el inconveniente por su desgaste acelerado suele manchar los aros con el polvo de asbesto. En las últimas décadas se ha prohibido el uso de este tipo de pastillas debido a que produce efectos nocivos a la salud causado por el polvo del amianto. (Velasteguí, 2015, p. 37)

En la tabla 2.1 que se detalla a continuación se da a conocer las ventajas y desventajas de las pastillas de frenos orgánicas.

Tabla 2-1: Ventajas y desventajas de las Pastillas de frenos Orgánicas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Son rentables, debido a su bajo costo.• En condiciones normales, son muy eficientes.• No producen ruidos.• Fabricado especialmente para vehículos livianos.	<ul style="list-style-type: none">• Necesitan un mayor tiempo de enfriamiento, luego de su funcionamiento.• No son adecuados para vehículos de altas prestaciones.• Tienen a cristalizarse en temperaturas altas.• Son compresibles, causando una sensación blanda y esponjosa.• Su desgaste es rápido, produciendo polvo en el sistema.

Fuente: (Reed, 2019)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

1.4.2.2 Pastillas Semimetálicas

Este tipo de pastillas son las más utilizadas en el mercado, está constituida por fibras de hierro, aunque en muchos casos contiene otros materiales que lo hacen más blando y resistente al desgaste. (Velasteguí, 2015, p. 57)

Contiene del 35% a 65% de metal, por lo general es polvo de hierro, lanas de acero y el otro porcentaje es de material orgánico. Son eficientes cuando alcanzan una alta temperatura de trabajo e ineficaces a bajas temperaturas cuando el vehículo se encuentra detenido, son más ruidosas en

comparación a las pastillas orgánicas, mientras más carga metálica tenga tiene un mejor rendimiento. (Velasteguí, 2015, p. 57)

Tiene mejores condiciones de frenado en calzada mojada, ya que su coeficiente de fricción no tiene mucha variación.

Tabla 3-1: Ventajas y desventajas de las Pastillas de frenos Semimetálicas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Ideal para la transferencia de calor, debido a los materiales de fibras de acero y cobre. • Adecuados para camionetas y camiones. • Es asequible, debido a su bajo costo. • Vida útil hasta los 15 000 km. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cada vez que se produce el frenad, éstas pastillas provocan ruido. • Generan polvo, debido a sus materiales disipadores de calor. • Los disco convencionales con las pastillas cerámicas se desgastan más rápido a temperaturas altas

Fuente: (Velasteguí, 2015)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

1.4.2.3 Pastillas cerámicas

En los vehículos de alta gama se emplean materiales de fibra de carbono para la fabricación de sus componentes. Para discos y pastillas se empezó a construir con un material similar en comportamiento llamado cerámica C/sic, está compuesto de carburo de silicio, filamentos de cobre y reforzado con fibra de carbono. (ATE, 2019)

En las pastillas cerámicas el porcentaje de compuesto cerámico es de 80% a 90%, el restante es de filamentos de cobre, materiales no ferrosos y pequeñas cantidades de metal, depende del fabricante del vehículo. (ATE, 2019)

Tabla 4-1: Ventajas y desventajas de las Pastillas de frenos Cerámicas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo en peso, ahorro de 50% de peso en cada rueda. • Resistencia al desgaste por abrasión. • Resistencia a la fatiga a temperaturas altas. • Mayor confort al disminuir el ruido. • Más limpias, no dejan residuos en las ruedas. • Aumento de la vida útil hasta los 300 000 Km. 	<ul style="list-style-type: none"> • Debido a sus materiales constituyentes, tienen un precio muy elevado • Es utilizado solo en vehículos de alta gama y de competencia. • El proceso de fabricación es lento.

Fuente: (ATE, 2019)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

1.4.3 Composición de las pastillas de frenos.

Los forros de las pastillas de frenos están fabricados de diferentes elementos que tienen una complejidad, están compuestos de lubricantes, fibras, materiales orgánicos, cargas minerales todos estos materiales tienen que tener una combinación perfecta dando una pastilla eficiente. (Velasteguí, 2015: pp. 31-33)

1.4.3.1 Cargas minerales

Estos minerales son los encargados de dar resistencia a la abrasión y al desgaste proporcionando también resistencia a altas temperaturas. Los más usados son: talco, mica, barita magnésita, entre otros. (Velasteguí, 2015: pp. 31-33)

1.4.3.2 Componentes metálicos

Permite tener una buena transferencia de calor que es producido por la fricción desde las pastillas hacia la mordaza, son añadidos en forma de polvo, los materiales más usados están el cobre, latón, bronce entre otros, estos componentes al ser nocivos para la salud se recomienda seguir estrictamente las normas del uso de metales pesados. (Velasteguí, 2015: pp. 31-33)

1.4.3.3 Materiales orgánicos

Son los encargados de la unión de los demás materiales, cuando se encuentran a altas temperaturas se encargan de polimerizar, dentro de las más utilizadas están los cauchos, ceras aceites, termo endurecibles. (Velasteguí, 2015: pp. 31-33)

1.4.3.4 Abrasivos

Tiene como objetivo aumentar el rozamiento o coeficiente de fricción de la pastilla con el disco, proporcionando también una limpieza en medio de estas formando una capa llamada tercera capa. (Velasteguí, 2015: pp. 31-33)

1.4.3.5 Fibras

Son los encargados de unir todos los materiales, es decir, forma ramificaciones en donde se agrupan todos los elementos conformantes del material de revestimiento, existen fibras sintéticas

y minerales. Entre las más usadas están las fibras de vidrio, lana de roca, fibras de aramida entre otros. (Velasteguí, 2015: pp. 31-33)

1.4.3.6 Lubricantes o modificadores de coeficiente

Tiene como finalidad variar el coeficiente de fricción dependiendo de la temperatura de trabajo de la pastilla, las más utilizadas son: antracitas, grafito, coque, sulfuros y otros. (Velasteguí, 2015: pp. 31-33)

La composición en porcentaje se da a conocer en el gráfico 1-1 que se muestra a continuación:

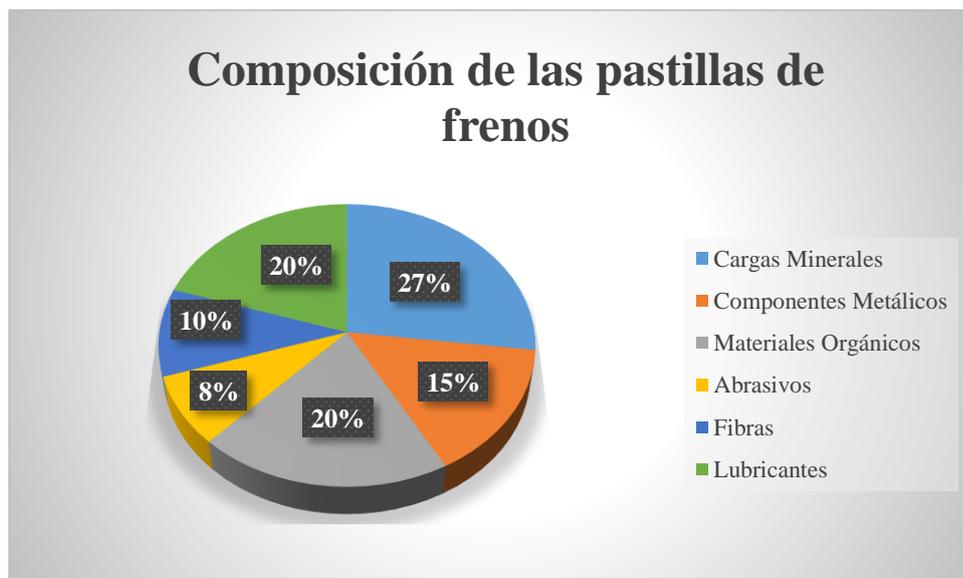


Gráfico 1-1: Composición de las pastillas de frenos

Fuente: (Velasteguí, 2015, p. 33)

1.4.4 Componentes de las pastillas de frenos

Los fabricantes han visto la necesidad de implementar diferentes componentes y accesorios con el objetivo de que las pastillas de frenos tengan mejores prestaciones al momento de frenar. (Velasteguí, 2015, p. 33)

1.4.4.1 Soporte

El soporte es el encargado de mantener el material de fricción en el porta-pastillas de la mordaza de freno, este soporte debe ser completamente plano para evitar fisuras al momento del prensado. Los fabricantes han decidido recubrirle al soporte con barniz que va estar impregnado mediante

una resina con alta adherencia para garantizar la unión del soporte con el material de fracción.
(Velasteguí, 2015, p. 33)



Figura 13-1: Soporte

Fuente: (Tamayo Nieto 2016, p. 59)

1.4.4.2 Láminas anti ruido

Muchas de las pastillas comercializadas en el Ecuador disponen de unas láminas anti ruido las mismas que permiten absorber las vibraciones que se produce al momento de la frenada entre pastilla y el disco, esta laminas está constituida de materiales metálicos o sintéticos dependiendo del tipo de vehículo. (Velasteguí, 2015, p. 33)



Figura 14-1: Lamina anti ruido

Fuente: (Frentec, 2020)

1.4.4.3 Avisadores de desgaste

Son elementos que se encargan de avisar cuando la pastilla está terminada o al fin de su vida. Existen diversos tipos, pero los que más se utilizan son los sonoros y luminosos.

Los sonoros informan mediante un chillido provocado por un pequeño elemento llamado fleje, estos se encuentran ubicados en las partes laterales de las pastillas en dirección del disco, el ruido se produce cuando el material de fricción llega a los 2 mm de espesor. (Vaca Solís, 2014, p. 35)

Los luminosos están constituidos por un cable el mismo que tiene la cabeza de polímero. Cuando la pastilla tenga un espesor de 3 mm este entra en contacto con el disco de frenos cerrando así el circuito que se refleja en el tablero de instrumentos encendido una luz de testigo de cambio de pastillas. (Vaca Solís, 2014, p. 35)



Figura 15-1: Avisadores de desgaste

Fuente: (Hugo, 2015)

1.4.4.4 *Material de fricción*

Es el elemento que entra en contacto con el disco de frenos provocando una fricción entre ellos, logrando así reducir la velocidad de giro de las ruedas. Sus componente y métodos de fabricación son diversos, estos se clasifican en flexibles y rígidos. (Velasteguí, 2015, p. 35)

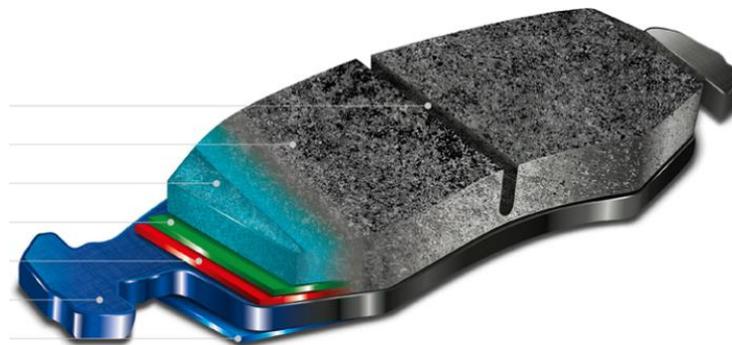


Figura 16-1: Material de fricción

Fuente: (Velasteguí, 2015, p. 35)

1.5 Tribología

La tribología según Castillo Rodríguez estudia el contacto entre superficies en movimiento y los efectos producidos entre los cuerpos como son el desgaste, fricción y lubricación, se encuentra presente en piezas móviles como elementos de frenado, rodamiento, elementos del motor, etc. (Castillo, 2007)

1.5.1 Fricción

Llamado fuerza de fricción o fuerza de rozamiento a la oposición al movimiento entre dos cuerpos sólidos en contacto (fuerza de fricción dinámica), o la fuerza de oposición al inicio del movimiento de un cuerpo (fuerza de fricción estática). Toda fuerza de fricción es opuesta a la dirección del movimiento. (Castillo, 2007)

La fricción debe mantenerse estable a diferentes condiciones de trabajo como el aumento de la temperatura, en la gráfica se aprecia la variación de la fricción en las pastillas de frenos de distintas calidades con respecto a la temperatura. (Bosch, 2016)

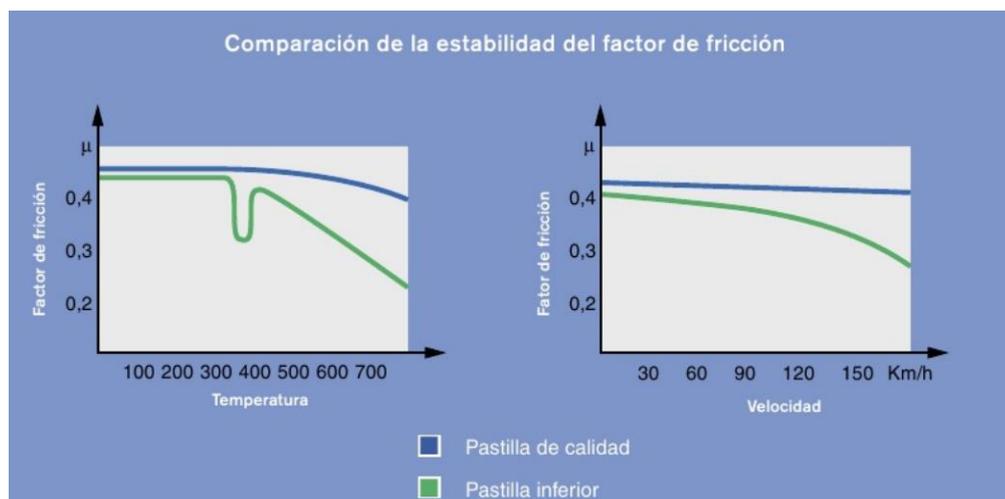


Gráfico 2-1: Comparación de estabilidad del factor de fricción

Fuente: (Bosch, 2016)

La fricción generada por las pastillas de frenos también depende del material del disco de freno, el coeficiente de fricción esta normado por la INEN 2185 referenciado en el departamento de transporte (DOT), el cual regula el coeficiente de fricción con las siglas que se muestran a continuación: (INEN, 2016)

Tabla 5-1: Clasificación del coeficiente de fricción según DOT

Clasificación DOT	Coeficiente de fricción
E	0,25 – 0,35
F	0,35 – 0,45
G	0,45 – 0,55
H	0,55 – 0,65

Fuente: (INEN, 2016)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2019)

1.5.2 Desgaste

Es el desprendimiento del material de un cuerpo sólido, esto se debe a la interacción que existe entre las superficies en contacto. (Castillo, 2007)

1.5.3 Lubricación

El objetivo principal de la lubricación es separar dos cuerpos en deslizamiento por una película fina de lubricante de tal manera que se evite el desgaste de los elementos. Los lubricantes pueden ser aceite mineral, sintéticos, agua o algunos de los casos aire dependiendo de las condiciones del uso. (Castillo, 2007)

1.6 Distancia de parada

La distancia parada o distancia de frenado global, es el recorrido de un automóvil desde que se presenta el peligro hasta que se detiene completamente, la eficiencia en el sistema de frenos es muy importante para no cuásar accidentes de tránsito. La distancia de frenado global es el resultado de la distancia de reacción más la distancia de frenado. (Carnwell, 2019)

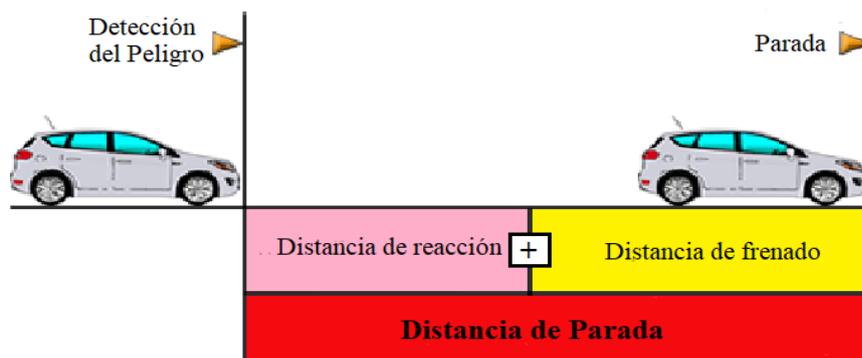


Gráfico 3-1: Distancia de parada

Fuente: (Muñoz y Calle, 2019)

Para el cálculo de la distancia de frenado se debe tener en cuenta la adecuada distribución de masas, el peso del vehículo, área frontal del vehículo, entre otras consideraciones.

La longitud de la distancia de frenado depende de los siguientes aspectos:

- Velocidad del vehículo: la distancia de frenado no es directamente proporcional a la velocidad del vehículo, mientras mayor sea su rapidez, su recorrido de frenado será mayor. (Borja et al, 2008, p. 170)
- Peso del vehículo: si su peso es mayor a lo ordinario, el recorrido de frenado será más largo. (Borja et al, 2008, p. 170)
- Estado de la calzada: es muy importante la fricción que se produce entre el neumático y la calzada, si la calzada esta mojada el coeficiente de fricción es menor por lo tanto la distancia de frenado será mayor. (Borja et al, 2008, p. 170)
- Estado de los neumáticos: la profundidad del labrado es indispensable cuando la calzada esta mojada, mientras menor sea la profundidad de labrado mayor será la distancia de frenado. Unos neumáticos en mal estado aumentan la distancia en un 15% a 20%. (Borja et al, 2008, p. 170)
- Fuerza en el pedal de frenos: mientras mayor sea la fuerza ejercida por el conductor en el pedal de freno, la capacidad de frenado aumenta. (Borja et al, 2008, p. 170)
- Estado de los frenos: Si el sistema esta con aire, cubierto con aceite o sus componentes en mal estado, ocasiona una pérdida de eficiencia, por consecuencia un mayor recorrido de frenado. (Borja et al, 2008, p. 170)

1.6.1 Progresión del Frenado

El frenado inicia desde la reacción del conductor para presionar el pedal del freno y termina cuando el vehículo está totalmente detenido. Las etapas que comprenden son distancia de reacción y distancia de frenado.

1.6.1.1 Distancia de reacción

La distancia de reacción o distancia de pensamiento es la distancia que recorre desde el momento que surge la necesidad de accionar los frenos y el tiempo que transcurre hasta que los frenos se activen. (Toyota, 2014)

Por lo general la distancia de reacción depende del estado físico y mental del conductor, también influye la velocidad del vehículo, el tiempo de reacción es de aproximadamente 0,6 segundos para conductores promedios en circunstancias de emergencias. Entonces la distancia de reacción es el recorrido de un automóvil durante el tiempo de reacción, la ecuación (1) muestra como calcular esta distancia. (CEPE, 2015)

$$s_r = \frac{V}{t_r} \quad (1)$$

1.6.1.2 Distancia de frenado

La segunda parte de un frenado progresivo es la distancia que recorre un vehículo desde el momento que los frenos son activados hasta que el vehículo este completamente detenido.

En esta etapa existen factores que influyen en la detención del vehículo como: el clima, el estado de los neumáticos, estado de la calzada, condiciones del conductor, estado del sistema de frenos, estado del vehículo, entre otros factores. (Carnwell, 2019)

Para el calcular la distancia de frenado se toma en consideraciones lo siguiente:

- La desaceleración no debe ser inferior a $6,43\text{m/s}^2$, para vehículos modernos con neumáticos en buen estado. (CEPE 2015)
- Calzada seca, nivelada y sellada, con una fricción óptima de aproximadamente 1. (CEPE 2015)
- En calzada mojada, nivelada y sellada, su coeficiente de fricción se reduce a aproximadamente 0,7, por lo tanto, la distancia de frenado aumenta. (CEPE 2015)

Según Venegas Toro una ecuación para calcular la distancia frenado se hace igualando la energía cinética del vehículo con el trabajo provocado. (Venegas Toro, 2012, p. 25)

Se puede expresar como se muestra en la ecuación (2):

$$s_f = \frac{V^2}{2 * g * (\mu_n \pm i)} \quad (2)$$

Para obtener la distancia de detención, según el reglamento ECE 13 - H se toma en cuenta la distancia de reacción con un tiempo promedio y la distancia de frenado en condiciones extremas.

En la tabla 6-1 se detalla la distancia de frenado global en condiciones óptimas del vehículo.

Tabla 6-1: Distancia de detención en diferentes condiciones.

Velocidad	S_r ($t_r = 0,6$ seg)	Condiciones de calzada	S_r	Distancia detención ($s_r + s_f$)
50 Km/h	8,33 m	Seco	20	28 m
		Mojado	26 m	34 m
60 Km/h	10 m	Seco	27 m	37 m
		Mojado	36 m	46 m
70 Km/h	11,67 m	Seco	36 m	47 m
		Mojado	49 m	60 m
80 Km/h	13,33 m	Seco	46 m	59 m
		Mojado	63 m	76 m
90 Km/h	15 m	Seco	57 m	72 m
		Mojado	78 m	93 m
100 Km/h	16,67 m	Seco	70 m	87 m
		Mojado	95 m	111 m
120 Km/h	33,33 m	Seco	98 m	131 m
		Mojado	135 m	168 m

Fuente: (CEPE 2015)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Para el cálculo práctico de la distancia de frenado, se debe tener en cuenta que la distribución de cargas del eje delantero y del eje trasero no son iguales, en un automóvil que se encuentra estático la distribución de pesos es 55% en el eje delantero y 45% en el eje trasero, sin embargo, esta distribución varía en condiciones dinámicas. A continuación, se presenta las fuerzas principales que actúan en el proceso de frenado. (Criado Ocaña, 2012: pp. 11-12)

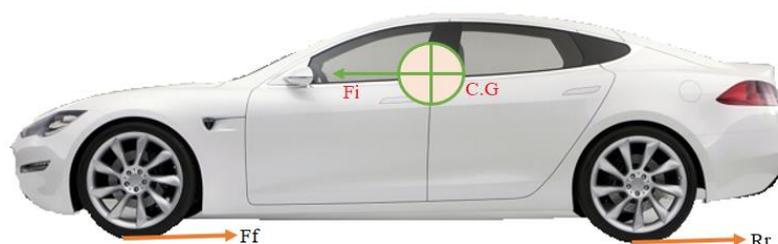


Figura 17-1: Fuerzas que actúan en el proceso de frenado

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En la figura 17-1 se puede observar que al aplicar los frenos se produce una fuerza (F_i) que actúa en el centro de gravedad que normalmente está por encima del eje de las ruedas, produciendo así, un cabeceo y modificando la distribución de cargas. Aunque la distribución depende también de las cargas estáticas, altura del centro de gravedad, velocidad del vehículo y otros aspectos, se puede estimar en un vehículo estándar la distribución de cargas es aproximadamente de 80% en el eje delantero y 20% en el eje trasero. (Criado Ocaña, 2012: pp. 11-12)

1.7 Momentos y fuerzas en el frenado

Básicamente cuando un vehículo se encuentra en movimiento, el sistema de frenos se encarga de detener parcial o totalmente el vehículo, en este proceso intervienen el peso y diversas fuerzas que modifican la aceleración, desaceleración, cambios de sentidos, entre otros aspectos. (Tamayo Nieto, 2016)

Un cuerpo trata de mantenerse en un estado de reposo o de movimiento, en un vehículo para cambiar su estado cuando se encuentra en marcha existen momentos y fuerzas que actúan sobre el mismo como la fuerza de frenado, resistencia a la rodadura, fuerza de fricción, fuerza en los neumáticos, entre otras. (Tamayo Nieto, 2016)

1.7.1 Fuerza de Frenado

Es una de las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo, la fuerza esta aplicada directamente a la oposición del giro del neumático que se encuentra en contacto con la carretera. (Gaibor y Núñez, 2014: pp. 19-20)

Esta fuerza tiene relación también con la adherencia al suelo y la eficiencia del sistema de frenos, siendo esta última muy importante ya que si supera el límite de adherencia neumático – carretera se produce el bloqueo de las ruedas y por consecuencia el derrape del vehículo. (Gaibor y Núñez, 2014: pp. 19-20)

Para calcular la fuerza de frenado se utiliza la ecuación (3) que se muestra a continuación:

$$F_f = P \left[\frac{d_m}{g} - \mu_n \right] \quad (3)$$

1.7.2 Fuerza de los Neumáticos

Los neumáticos de un vehículo experimentan fuerzas en diversos sentidos para cambiar de dirección al presentarse una desviación en la calzada, estas fuerzas que actúan en los neumáticos son: fuerza tangencial, normal y lateral, las cuales se pueden observar en la figura 18-1 que se muestra a continuación:



Figura 18-1: Fuerzas en el neumático

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

1.7.2.1 Fuerza Tangencial (F_U)

Se trata de una fuerza longitudinal que actúa sobre la superficie de la carretera y se origina cuando se vehículo se somete a una aceleración o desaceleración mediante los respectivos pedales accionados por el conductor. (Tamayo Nieto, 2016)

1.7.2.2 Fuerza Normal (F_N)

Es la fuerza que esta vertical, en el contacto neumático – carretera, independientemente del movimiento del vehículo o cuando ese en reposo, esta fuerza lo determina la carga del vehículo, depende de la carga en cada rueda y de la inclinación en la que se encuentre. (Tamayo Nieto, 2016)

La fuerza normal en cada uno de los neumáticos puede variar en la aceleración, desaceleración y cuando se produzca un cambio de dirección, esta fuerza es máxima en cada rueda cuando se encuentra en una calzada llana. (Gaibor y Núñez, 2014)

1.7.2.3 Fuerza Lateral (F_S)

Se trata de una fuerza que actúa en el neumático de forma horizontal, esta fuerza provoca el cambio de dirección del automóvil. (Tamayo Nieto, 2016)

1.7.3 Fuerza de fricción

La fuerza de fricción siempre está presente entre la calzada y el neumático, ya sea que el vehículo este en reposos o en movimiento, sus valores varían dependiendo de la velocidad, estado del neumático, condiciones de la calzada, entre otros aspectos, para aprovechar al máximo la adherencia existen sistemas ABS y ASR que ayudan al vehículo a no perder el control de la calzada. (Vaca Solís, 2014)

Los valores del coeficiente de fricción se representan en la tabla 7-1 que se muestra a continuación: (Vaca Solís, 2014)

Tabla 7-1: Coeficiente de adherencia de los estados de la calzada y del neumático.

Tipo de Suelo	Estado	Neumáticos nuevos (μ)	Neumáticos usados (μ)
Asfalto grueso	Seco	1,00	1,00
	Mojado	0,7	0,5
Asfalto normal	Seco	0,6	0,6
	Mojado	0,5	0,3
Asfalto compacto	Seco	0,6	0,6
	Mojado	0,65	0,3
Barro		0,2	0,1
Hielo		0,05	0,05

Fuente: (Vaca Solís, 2014)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

1.7.4 Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura está presente en el contacto suelo – neumático, actúa como una fuerza retardadora al proceso de frenado, es opuesto a la fuerza de tracción y causa pérdidas mecánicas en el sistema de transmisión. (Gaibor y Núñez, 2014, p. 20)

La fuerza de resistencia a la rodadura ayuda a la desaceleración del vehículo, depende del estado y de la presión del neumático, tipo y estado de la calzada y la velocidad del vehículo. Su valor se obtiene mediante el producto del coeficiente de fricción neumático – calzada con el peso que soporta cada neumático, se expresa con la ecuación (4) donde R_r es resistencia a la rodadura y P_n es peso en el neumático como se muestra a continuación: (Tamayo Nieto, 2016)

$$R_r = \mu_n * P_n \quad (4)$$

1.7.5 Resistencia Aerodinámica

Se trata de una fuerza retardadora en el proceso de frenado, su valor es despreciable a bajas velocidades, sin embargo, el valor de aumenta con la velocidad. Su valor depende del diseño de construcción del vehículo, el área frontal, la velocidad de marcha, densidad del aire, dirección y velocidad del viento. (Tamayo Nieto, 2016, p. 41)

Según (Wulf Post) la resistencia aerodinámica se calcula a partir del coeficiente de la resistencia del aire, área transversal del automóvil, velocidad del vehículo (incluye la velocidad de viento, ya sea a favor o en contra de la dirección del vehículo) y la densidad del aire.

Su valor se representa con la ecuación (5) que se muestra a continuación:

$$F_L = C_w * A * v * \frac{\rho}{2} \quad (5)$$

La velocidad del viento depende del factor de estabilidad estático (SSF), para vehículos con $SSF > 1,25$ la velocidad del viento debe ser ≤ 10 m/s y para $SSF < 1,25$ la velocidad del viento debe ser ≤ 5 m/s, La velocidad del viento está en función del ancho de la vía y de la altura del centro de gravedad se calculará con la ecuación (6) que se muestra a continuación donde h es la altura del centro de gravedad del vehículo. (Tamayo Nieto, 2016, p. 41)

$$SSF = \frac{\text{Ancho de via}}{2 * h} \quad (6)$$

1.7.6 Resistencia del par motor y la transmisión.

La resistencia del motor y la transmisión es muy importante para el proceso del frenado, debido a que opone resistencia al movimiento de las ruedas cuando no se encuentra acelerando, esto ayuda a que los elementos de fricción no se desgasten de manera rápida, evitando también el sobre calentamiento del sistema. (Tamayo Nieto, 2016)

1.8 Comportamiento térmico de las pastillas de frenos.

La principal función de las pastillas de frenos es producir fricción para detener el movimiento rotacional del disco, para ellos debe soportar altas temperaturas sin perder sus propiedades.

La energía disipada de las pastillas de frenos es producto de la energía potencial y cinética del automóvil que se transforma en energía calorífica, esta energía debe ser disipada del sistema para no perder su eficiencia. (García, 2017)

1.8.1 Transferencia de calor

Es un proceso termodinámico en el cual se transfiere energía en forma de calor entre dos o más cuerpos, en el sistema de frenos el calor debe ser disipada para que las pastillas de frenos no pierdan sus propiedades, la transferencia termina cuando la temperatura del medio es homogénea. (García, 2017)

El calor generado por la fricción debe ser disipada con la mayor rapidez posible para no perder eficiencia en el sistema de frenos, la transferencia se produce por el avance del vehículo y por la capacidad de disipación térmica de las pastillas y del disco. Cuando en un intervalo de tiempo se presenta un exceso de frenado se acumula calor, llegando a su límite llamado temperatura de saturación. (García, 2017)

1.8.1.1 Energía despidida por el sistema de frenos.

El frenado transforma energía cinética del automóvil en calor, esto ocurre por el rozamiento de las pastillas con el disco. Para calcular esta energía que es disipada del sistema se debe tener en consideración la masa de vehículo, velocidad del vehículo y el factor de corrosión para masas rodantes. (Carranza y Beltrán, 2003, p. 5)

El factor de corrección para un vehículo estándar se considera dependiendo de la velocidad, sus valores comprendidos están en el rango de: $1.05 \leq k \leq 1.15$. (Carranza y Beltrán, 2003, p. 5)

Para calcular la energía total disipada en el sistema de frenos se toma en cuenta la ecuación (4) que se muestra a continuación:

$$E_f = \frac{k * m * (V_i - V_f)^2}{2} \quad (7)$$

Donde:

E_f : es la energía total disipada en el sistema de frenos

k : es el factor de corrección para masas rodantes.

Para obtener la energía en cada eje del automóvil se debe tener en cuenta que la energía total se distribuye de la misma manera que la distribución de peso del vehículo en la etapa de frenado, es decir, aproximadamente el 80% de la energía se concentra en el eje delantero y el 20% en el eje trasero. (García et al, 2018: pp. 11-12)

Para calcular la energía en cada pastilla de freno del eje delantero se debe tomar en cuenta que la energía total se distribuye en un 90% en el disco y 10% en las cuatro pastillas de frenos.

La energía en cada pastilla se calcula mediante la ecuación (8) que muestra a continuación:

$$E_{past} = \frac{E_f * 0,8 * 0,1}{4} \quad (8)$$

1.8.1.2 Calor generado en el sistema de frenos

El calor que se produce en el rozamiento de las pastillas con el disco se calcula tomando en cuenta el área de la pastilla (a), velocidad del vehículo, masa del vehículo, tiempo de frenado (t), propiedades térmicas y físicas de los elementos frenantes. (García et al, 2018: pp. 11-12)

Para el cálculo del calor generado en las pastillas de freno se utiliza la ecuación (9) que se muestra a continuación:

$$q_{total} = \frac{E_f}{a * t} \quad (9)$$

1.8.1.3 Fallas en las pastillas de frenos

Las pastillas están sometidas a temperaturas extremas, debido a la fricción provocada contra el disco, los daños más comunes son: la cristalización, desgaste asimétrico, quebraduras, entre otros.

- La pérdida del coeficiente de fricción se produce en el rango de 450°C a 700°C, su principal causa es mantener frenando el vehículo por mucho tiempo en la bajada de una pendiente, este hecho hace que la temperatura se eleve más del límite permisible de la pastilla, ocasionando que la resina del material de fricción pase a un estado líquido, subiendo a la superficie de la pastilla evitando así, el rozamiento contra el disco, debido

a que se forma una textura dura en la superficie de la pastilla, el disco cambia a un color azulado; para solucionar esta falla se debe cambiar los componentes de fricción. (Vaca Solís, 2014; pp. 96-97)



Figura 19-1: Cristalización de las pastillas de frenos

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

- El desgaste asimétrico se puede producir por el mal montaje de las pastillas, desplazamiento de las lamina antichirrido, émbolo desgastado, entre otras causas, esta falla produce un frenado ineficiente, vibraciones en el volante al momento de frenar y el desgaste del disco cuando supere su límite de desgaste. (Díaz, 2019)



Figura 20-1: Desgaste asimétrico de las pastillas

Fuente: (Díaz, 2019)

1.9 Normativa para la regulación de pastillas de frenos y distancia de frenado.

Existen diferentes normas para la regulación de la seguridad del vehículo, por ende, garantizar la integridad de los ocupantes.

Las normas vigentes examinan los vehículos que están por entrar al mercado mediante pruebas de colisiones, eficiencia de frenado que garanticen el correcto funcionamiento de los automóviles.

Para ello existen Normas nacionales e internacionales como la NTE INEN 034, NTE INEN 2185 y la ECE – 13H

1.9.1 RTE INEN 034

Reglamento Técnico Ecuatoriano - Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores. Reglamento con la última revisión el 22 de mayo de 2014, basado en el Reglamento ECE 13 – H se trata de una norma para el control y homologación de los elementos de seguridad, además, la ejecución del programa “Vehículos Seguros”, realizada con la participación de la ANT, Ministerio de transporte y obras públicas, entre otras instituciones nacionales tanto públicas como privadas. (INEN, 2010)

Esta norma aplica a todos los vehículos que vayan a ingresar al mercado ecuatoriano con la finalidad de lo siguiente:

- Disminuir el índice de mortalidad causados por accidentes de tránsito. (INEN, 2010)
- Garantizar elementos de buena calidad para la protección de los ocupantes. (INEN, 2010)
- Disminuir accidentes en las vías debido a fallas mecánicas. (INEN, 2010)
- Establecer los elementos mínimos de seguridad para que un vehículo pueda circular con regularidad. (INEN, 2010)

En el apartado 4.3.1 de la norma INEN 034 establece que todo vehículo automotor debe disponer de al menos 2 sistemas de frenos independientes, uno de servicio y otro de estacionamiento.

1.9.2 NTE INEN 2185

Norma Técnica Ecuatoriana – Material de fricción para el sistema de frenos de automotores, requisitos y métodos de ensayo. (INEN, 2016)

Reglamento con su última revisión en 2016, establece los requisitos necesarios para el revestimiento de las zapatas y pastillas de frenos que vayan a ser utilizadas en los vehículos automotores a nivel nacional. (INEN, 2016)

De acuerdo al literal 4.1 de la INEN 2185 establece los rangos del coeficiente de fricción para pastillas de frenos, estos rangos tienen están establecidas mediante dos letras, la primera es el coeficiente de fricción en frío (121°C) y la segunda el coeficiente de fricción en caliente (315°C). (INEN, 2016)

Tabla 8-1: Clasificación del coeficiente de fricción de las pastillas de frenos

Rangos	Coeficiente de Fricción en frío	Coeficiente de Fricción en caliente
EE	0.25 - 0.35	0.25 - 0.35
FE	0.35 - 0.45	0.25 - 0.35
FF	0.35 - 0.45	0.35 - 0.45
GF	0.45 - 0.55	0.35 - 0.45
GG	0.45 - 0.55	0.45 - 0.55
HH	0.55 - 0.65	0.55 - 0.65

Fuente: (INEN, 2016)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

1.10 Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): El material de revestimiento de los diferentes tipos de pastillas de freno no influye en la temperatura generada en las mismas al momento del frenado.

Hipótesis alternativa (H_1): El material de revestimiento de los diferentes tipos de pastillas de freno influye en la temperatura generada en las mismas al momento del frenado.

1.10.1 Variable de la hipótesis

1.10.1.1 Variable independiente

Los tipos de pastillas de frenos orgánicas, semimetálicas y orgánicas.

1.10.1.2 Variable dependiente

La distancia de frenado y la temperatura generada en las pastillas de frenos.

CAPITULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Introducción

Según (Balestrini, 2016; citado en Nogales, 2020, p. 40) define que la metodología “*es el conjunto de procedimientos lógicos, tecno operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizarlos supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados*”

La metodología hace énfasis a la pregunta ¿Cómo se desarrolla la investigación?, se trata de seguir un procedimiento lógico y ordenado, el propósito fundamental es demostrar la verdad de los enunciados planteados, en otras palabras, es la vía para llegar a la meta planteada en la investigación. (Behar, 2008, p. 34)

2.2 Tipo de investigación.

Existen diferentes tipos de investigación dependiendo del nivel de conocimiento que se requiera obtener, según el tiempo que dure la investigación, según los datos recolectados para validar el problema planteado en la investigación, a continuación, se detallan los tipos de investigación seleccionados de acorde al tema de investigación:

2.2.1 Investigación Bibliográfica

Se trata de un método científico que se basa en reunir referencias, los cuales serán documentos escritos o audiovisuales que contengan información de relevancia para elaborar y sustentar la investigación. La acumulación de información se dará de acuerdo a un plan de trabajo. (Matos Ayala, 2019)

La recolección de datos acerca del sistema de frenos se dará de manera global, luego mediante una selección se obtendrá información concerniente a pastillas de frenos, para posteriormente redactar el escrito, revisar y corregir. (Matos Ayala, 2019)

2.2.2 *Investigación Experimental*

Este tipo de investigación es uno de los más importantes métodos de investigación cuantitativos con un enfoque científico, aplicando los sentidos como parte de la observación, se trata del cambio de variable dependiente mientras se manipula la variable independiente para comprobar la validez de la hipótesis. (Behar 2008, p. 47)

2.2.3 *Investigación exploratoria*

Este método de investigación está basado en seleccionar los aspectos fundamentales del problema planteado y encontrara un procedimiento lógico para obtener una investigación posterior. Esta investigación se hace cuando el tema de investigación no ha sido estudiado suficientemente. (Behar, 2008, p. 47)

2.3 Alcance de la investigación.

El estudio tiene como punto de partida el alto índice de accidentes de tránsito por la influencia de la temperatura generada en las pastillas de frenos, llevando a una investigación de los diferentes tipos de pastillas de frenos comercializados en el mercado ecuatoriano de tipo orgánica, semimetálica y cerámica, sometiendo estas pastillas a pruebas de frenado bajo normativas internacionales para así; seleccionar el tipo de pastilla con una adecuada variación en la temperatura para evitar problemas de cristalización en el material de revestimiento, obteniendo un rendimiento óptimo del sistema de frenado y garantizando la seguridad de los ocupantes del vehículo.

2.4 Técnicas y recolección de datos según el Reglamento ECE 13 – H

Se entenderá por técnicas para la recolección de datos, al procedimiento a llevar a cabo para obtener datos de la prueba realizada.

Reglamento n° 13-H de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) - Disposiciones uniformes sobre la homologación de los vehículos de turismo en lo relativo al frenado [2015/2364]. (ver Anexo A)

Según la normativa creada por la UNECE, con la última revisión en el año 2015, determina la eficiencia del sistema de frenos, mediante la distancia de frenado y la desaceleración media establecida, el reglamento aplica a vehículos de la categoría M₁ y N₁, en el documento también, se encuentra las definiciones relacionados al sistema de frenos y sus características. (CEPE, 2015)

La distancia de frenado de un vehículo es el recorrido que realiza desde que el conductor acciona el pedal de frenos hasta que el vehículo se detenga completamente, la velocidad inicial se considera a la velocidad cuando el conductor empieza accionar el pedal, esta velocidad no deberá ser inferior al 98% de la velocidad exigida en el ensayo. (CEPE, 2015)

La desaceleración media está definida mediante la ecuación (10) que se muestra a continuación:

Tabla 1-2: Desaceleración Media

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_c^2}{25,92(s_c - s_b)} \quad (10)$$

Donde:

V_o: es la velocidad inicial que va a tener el vehículo

V_b: se la obtiene de la velocidad del vehículo en el 0,8 v_o

V_c: es la velocidad del vehículo a 0,1v_o

S_b: distancia recorrida entre (v_o - v_b)

S_c: distancia entre (v_o - v_c)

Fuente: (CEPE, 2015)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

En el Anexo 3 de la normativa ECE - 13H se encuentra detallado las pruebas que involucran el rendimiento del sistema de frenos del vehículo, además, los equipos utilizados que ayudan a obtener unos datos precisos de la eficiencia de frenado. (CEPE, 2015)

2.4.1 Categoría de los vehículos

La categoría de los vehículos está definida en la Resolución consolidada sobre la construcción de vehículos (R.E.V.3), documento ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.6.

La categoría M en general, rige a vehículos motorizados con al menos cuatro ruedas y utilizados para el transporte de pasajeros.

- " Categoría M₁ " son los vehículos del motor utilizados para el transporte personal o de pasajeros y que comprenden con un máximo de ocho asientos incluido el asiento del conductor, dicho vehículo no debe superar de 3,5 toneladas. (CEPE 2015)

En la categoría N se encuentran los vehículos de motor con un mínimo de cuatro ruedas, utilizados para el transporte de productos o carga liviana.

- " Categoría N₁ " son los vehículos designados para el transporte de carga y con una masa máxima que no supere de 3,5 toneladas. (CEPE 2015)

La normativa no aplica a vehículos que no superen los 25 Km/h y vehículos adaptados para uso de discapacitados. (CEPE 2015)

Los vehículos de esta categoría deben ser de características similares, tales como:

- Masa máxima según las especificaciones del fabricante. (CEPE 2015)
- Peso distribuido en los ejes del automóvil. (CEPE 2015)
- Velocidad máxima de fábrica. (CEPE 2015)
- Cilindrada del motor. (CEPE 2015)
- Relación de transmisión y numero de marchas. (CEPE 2015)
- Dimensiones estándar de fábrica. (CEPE 2015)

2.4.2 Selección y características técnicas del Vehículo.

Un sistema de frenos de disco, es muy importante ya que garantiza un frenado eficiente, ofreciendo estabilidad del vehículo para no perder el control del mismo.



Figura 1-2: Chevrolet Aveo 1.5

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

Según las estadísticas en el anuario 2018 de la AEADE, la marca Chevrolet, modelo Aveo family, es el segundo auto más vendido a nivel nacional. Este tipo de vehículo es de preferencia en el mercado nacional luego del modelo sail, satisface las necesidades de movilización de las personas, es utilizado para trabajo urbano como taxis convencionales y ofrece un buen confort a un precio accesible a la comunidad. (AEDE, 2019)

El mantenimiento de este modelo, no es complejo, por lo que se puede hacer un diagnóstico y reparación en talleres automotrices autorizados a nivel nacional. En cuanto a repuestos y recambios existe un gran stock para realizar su mantenimiento y reparación. (AEDE, 2019)

Debido a una buena aceptación del vehículo Chevrolet Aveo, se ha seleccionado para realizar el análisis de la incidencia de la temperatura en la distancia de frenado. En la tabla 1.2 se muestra las características técnicas del vehículo:

Tabla 2-2: Ficha Técnica Chevrolet Aveo Family.

Fabricante	Chevrolet
Modelo	Aveo family STD
Año de fabricación	2013
Cilindrada	1498 cc
Potencia	83/5600 hp/rpm
Torque	128/3000 N.m/rpm
Neumáticos	185/60/R14
Largo	4235 mm
Alto	1495 mm
Distancia entre ejes	2480 mm
Peso bruto vehicular	1365 Kg
Capacidad de carga	325 Kg
Capacidad de carga baúl	374 L
Capacidad de tanque de combustible	45 L
ABS	si

Fuente: (Chevrolet, 2018)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

2.4.3 Selección de calzada

Para los ensayos pertinentes se procede a seleccionar el tipo de calzada, según el reglamento debe ser completamente plana con una inclinación de $\pm 1^\circ$. El coeficiente de fricción debe ser bueno de preferencia asfalto, a no ser que se trate de otro tipo de ensayo que se requiera distintos tipos de calzada. (CEPE, 2015)

La calzada seleccionada está ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, designada como pista de aviación, siendo ésta adecuada para realizar los ensayos de frenado correspondientes del ECE 13 – H. La ubicación geográfica se muestra en la figura 2-2 a continuación:

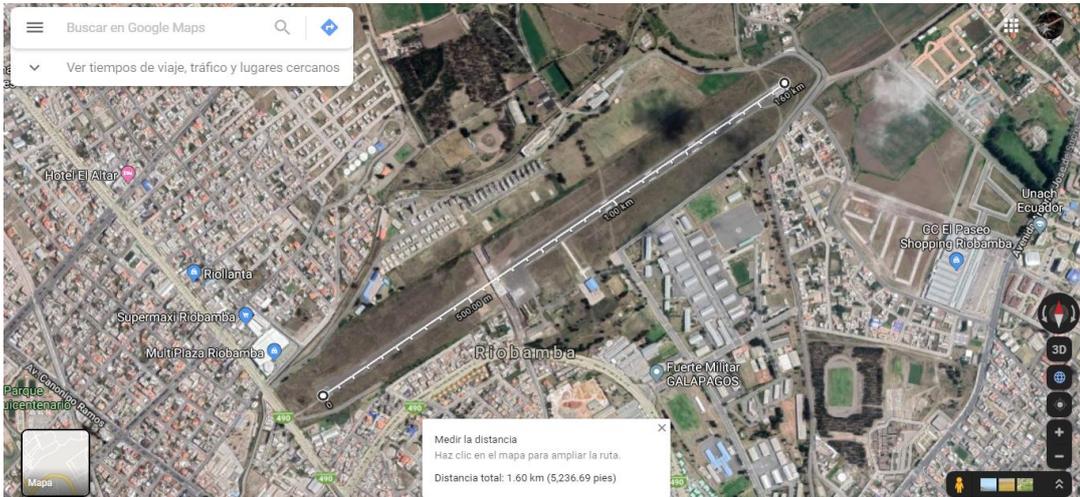


Figura 2-2: Ubicación geográfica de la calzada.

Fuente: (Google Maps)

Las características de la calzada en donde se va a realizar los ensayos correspondientes tales como las dimensiones, tipo, entre otros aspectos se detallan a continuación en la tabla 2.1:

Tabla 3-2: Características de la calzada

Ubicación	Dimensiones		Tipo de Calzada	Elevación	Pendiente
	Largo	Ancho			
Ecuador, Chimborazo, Riobamba	1600 m	29 m	Pavimento	2789 msnm	± 12 %

Fuente: (Aviación, 2019)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

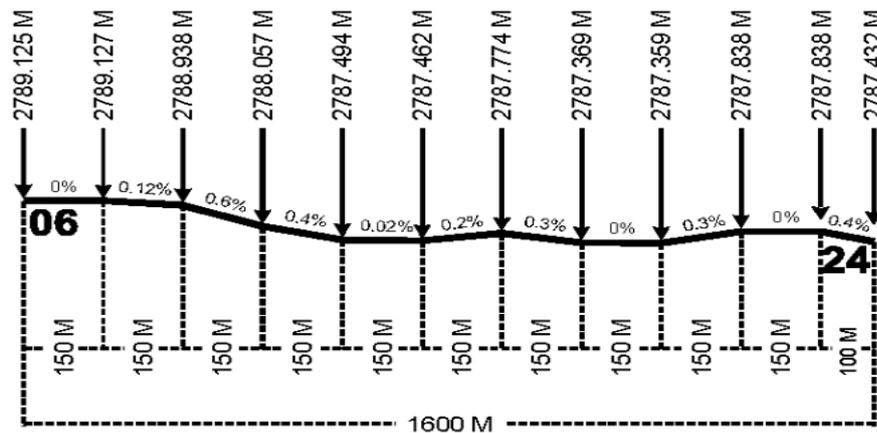


Gráfico 1-2: Pendiente de la calzada

Fuente: (Aviación, 2019)

2.4.4 Selección de pastilla de freno

Según (Armas 2017, p. 27) se debe tener en cuenta que la temperatura máxima para que el material de revestimiento empiece a cristalizarse es de 300°F equivalente a 150°C aproximadamente.

2.4.4.1 Pastilla Bosch de composición orgánica

Las pastillas de tecnología Bosch de composición orgánica tienen un mejor desempeño en el mercado latinoamericano, están libres de cobre por lo que no son muy abrasivos con el disco. Ofrece un coeficiente de fricción mayor por lo que garantiza una distancia de frenado 7,5% menor. (Bosch, 2016)

Las pastillas tienen un rango de fricción FF, por lo que su coeficiente fricción no varía demasiado, permaneciendo en el rango de 0,35 a 0,45 el cual garantiza un frenado eficiente tanto en frío como en caliente.



Figura 3-2: Pastillas de freno Bosch de composición orgánica

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

2.4.4.2 Pastilla Premium semimetálica

Elaborado en Colombia por autopartes imfrisa, ofrece seguridad, un alto coeficiente de fricción de clase FF con 0,402 en frío y 0,363 en caliente, permitiendo una respuesta rápida del conductor aplicando menor esfuerzo. Cumple con la NTE INEN 2185 referente a revestimiento de las pastillas de freno.

El material de fricción está elaborado sin crisotilo, el cual es un material con una gran durabilidad y resistencia, contiene todas las características de los asbestos las cuales son perjudiciales para la salud causando cáncer a las vías respiratorias.



Figura 4-2: Pastilla de freno imfrisa de composición semimetálica.

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

2.4.4.3 Pastilla Litton cerámica

Litton fabricantes de pastillas de frenos, en cuanto a investigación y desarrollo apuntan a satisfacer las necesidades de los usuarios, ofreciendo seguridad, confortabilidad, un frenado eficiente, desgaste muy bajo y amigable con el disco de freno.

Estas pastillas de freno cumplen con los requerimientos del material de fricción, teniendo un rango de fricción FF, el cual no varía su coeficiente de fricción en el rango de temperatura de 121°C a 315°C, cumpliendo así con la Normativa INEN 2185.



Figura 5-2: Pastillas de freno Litton de composición cerámica

Fuente: (Muñoz y Calle, 2019)

2.4.5 Ensayos y recolección de datos

2.4.5.1 Consideraciones generales

Para realizar el ensayo según la Norma ECE 13 – H se debe de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los neumáticos deben estar fríos y tener la presión prescrita por el fabricante. (CEPE 2015)
- El proceso de frenado se dará sin bloquear las ruedas, sin que se desvíe el automóvil de un ancho de calzada de 3,5 m y el ángulo de guiñada no mayor a 15°. (CEPE 2015)

Existen 2 tipos de ensayos para calcular la eficiencia del sistema de frenos de servicio, mediante la distancia de frenado, estos dos tipos se detallan a continuación:

2.4.5.2 Ensayo Tipo 0

La realización del ensayo tipo 0 del reglamento ECE 13 – H se debe efectuar en las condiciones prescritas por el reglamento, las cuales son las siguientes:

- La temperatura media inicial en los forros de los frenos de servicio debe estar en el rango de 65°C a 100°C. (CEPE 2015)
- La distribución de la masa en cada eje, deberá ser la declarada por el fabricante del vehículo. (CEPE 2015)
- El ensayo debe repetirse como mínimo seis veces con el vehículo descargado, además del conductor solo puede haber una persona para el manejo de equipos e instrumentos de medición. (CEPE 2015)
- Se debe de realizar enfriamiento de los discos de freno para cada prueba hasta llegar a la temperatura inicial establecida. (CEPE 2015)

El ensayo Tipo 0 se puede desarrollar de dos maneras, con el motor embragado y con el motor desembragado, las características de cada una se muestran en la tabla 4.2:

Tabla 4-2: Maneras de realizar el ensayo tipo 0

a) Motor desembragado	v	100km/h.	(11)
	$s \leq$	$0,1v + 0,0060v^2$	
	$d_m \geq$	6,43 m/s ²	
b) Motor embragado	v	80 % $V_{m\acute{a}x} \leq 160$ km/h	(12)
	$s \leq$	$0,1v + 0,0067v^2$ (m)	
	$d_m \geq$	5,76 m/s ²	
f		6,5 - 50 daN	
<p>Donde:</p> <p>V: es la velocidad inicial a la que se realizara el ensayo</p> <p>S: distancia de frenado del vehículo en metros.</p> <p>d_m: es la desaceleración media establecida por el ensayo</p> <p>f: es la fuerza ejercida sobre el pedal de freno en daN</p> <p>$V_{m\acute{a}x}$: es la velocidad máxima del en km/h</p>			

Fuente: (CEPE 2015)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

2.4.5.3 Ensayo de tipo 1

Perdida y recuperación de eficacia

Según el reglamento en el ensayo tipo 1, se calentará las pastillas accionando el pedal de freno varias veces con el vehículo cargado y en las condiciones que se muestra en la tabla 5-2.

Tabla 5-2: Procedimiento para calentar las pastillas de frenos

V_1 (Km/h)	V_2 (Km/h)	Δt (s)	n
80 % $v_{m\acute{a}x} \leq 120$	$0,5 v_1$	45	15
<p>Donde:</p> <p>V_1: es la velocidad inicial de frenado.</p> <p>V_2: es la velocidad al final del frenado.</p> <p>Δt: es la duración de entre V_1 y V_2.</p> <p>n: es el número de ciclos que se acciona el pedal de freno.</p>			

Fuente: (CEPE 2015)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

La fuerza ejercida por el pedal del freno debe ser ajustada de tal manera que la desaceleración media sea aproximadamente 3 m/s², al momento de realizar la acción la caja de cambios se mantendrá en la relación más alta, sin contar con la superdirecta. (CEPE 2015)

Eficacia en caliente

Se procede a medir la eficiencia del sistema de frenos en condiciones similares al ensayo tipo 0, pudiendo variar la temperatura. La eficiencia no será inferior al 60% establecido en el ensayo tipo 0 con el motor desembragado, ni menor al 75% de lo exigido, esto equivale a una distancia de frenado que se representa en la ecuación (13) y a una deceleración media estabilizada de 4,82 m/s². (CEPE 2015)

$$0,1v + 0,0080v^2 \text{ (m)} \quad (13)$$

En caso de que un vehículo no cumpla los porcentajes de eficiencia establecidos anteriormente, se podrá efectuar un nuevo ensayo con una fuerza no mayor a lo establecido en el ensayo tipo 0.

2.4.5.4 Procedimiento de los ensayos

Para realizar el ensayo se efectuará con el vehículo cargado y descargado, además de la transmisión con el motor desembragado. El coeficiente de fricción para el eje delantero y trasero debe estar en el rango de 0,15 a 0,8.

Tabla 6-1: Procedimientos de los ensayos de frenado

a)	Revisar que todos los componentes del sistema de frenos estén en buenas prestaciones.
b)	La capacidad del tanque de combustibles debe estar en el 90% de su capacidad.
c)	Carga máxima de los ocupantes es de 168Kg y el peso bruto del vehículo inferior a 4500Kg, esto con el fin de garantizar resultados fiables.
d)	La temperatura ambiente no excederá los 40°C.
e)	La temperatura del sistema de frenos debe estar entre 65°C y 100°C.
f)	La velocidad de ensayo será de 50km/h y 100km/h.
g)	La fuerza será progresiva de entre 100 y 150 N/s para la velocidad de 100km/h y de entre 100 y 200 N/s para la velocidad de 50km/h.
h)	Con el vehículo descargado de realizar cinco repeticiones a 100Km/h y cinco a 50Km/h alternando las velocidades después de cada parada y luego se repetirá el proceso alternando las velocidades cada dos paradas.
i)	Los datos que se tomarán en cuenta será la velocidad del vehículo, fuerza ejercida en el pedal de freno, velocidad angular en la rueda, par del freno en cada rueda y la desaceleración.
j)	Índice de adquisición de datos de mínimo 40Hz.

Fuente: (CEPE 2015)

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

2.5 Recolección y procesamiento de datos.

La recolección de datos es un proceso mediante el cual se obtiene y se almacena la información, los valores obtenidos en las pruebas son de tipo numérica. El registro de los datos y su representación gráfica se dio mediante en el programa Microsoft Excel 2016 y el software estadístico Minitab 2018.

El procesamiento y análisis de los datos fue mediante estadística descriptiva y comparación múltiple de variables para determinar el tipo de pastillas de freno con mejor eficiencia referente a la temperatura en función de la distancia de frenado.

La variación de la temperatura en el proceso de frenado, puede ser por causas naturales debido a parámetros establecidos en el proceso ya sea la fuerza de frenado, coeficiente de fricción, entre otros aspectos, también, puede existir una variabilidad por causas especiales, debido a circunstancias ajenas al proceso que se pueden identificar y eliminar del proceso, estas causas pueden ser las condiciones ambientales, la velocidad, entre otros.

El proceso estadístico está controlado cuando la variación de los datos está dentro del límite preestablecido y la distribución no varía. (Rivera García 2011)

2.5.1 Carta de lecturas individuales I-MR (Para datos variables)

Esta carta de control analiza datos individuales, variables que no pueden ser muestreados por grupos o lotes, es decir en donde los datos medidos son relativamente homogéneos, de un solo subgrupo. (Minitab, 2019)

El procedimiento para obtener la gráfica I-MR es coleccionar los datos de una medición, calcular el promedio de los datos, calcular los rangos móviles, calcular el promedio de los rangos móviles, obtener los límites de control y trazar la gráfica de control. (Minitab, 2019)

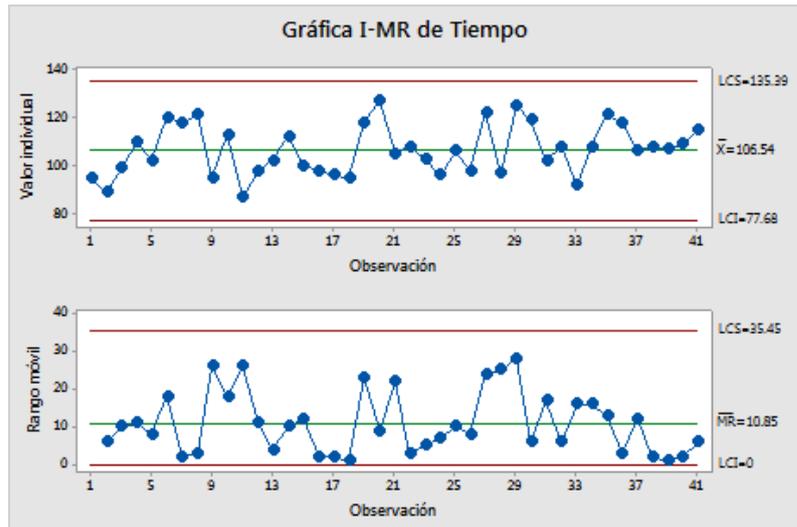


Gráfico 2-2: I – MR en función del tiempo

Fuente: (Minitab, 2019)

2.6 Procedimiento experimental

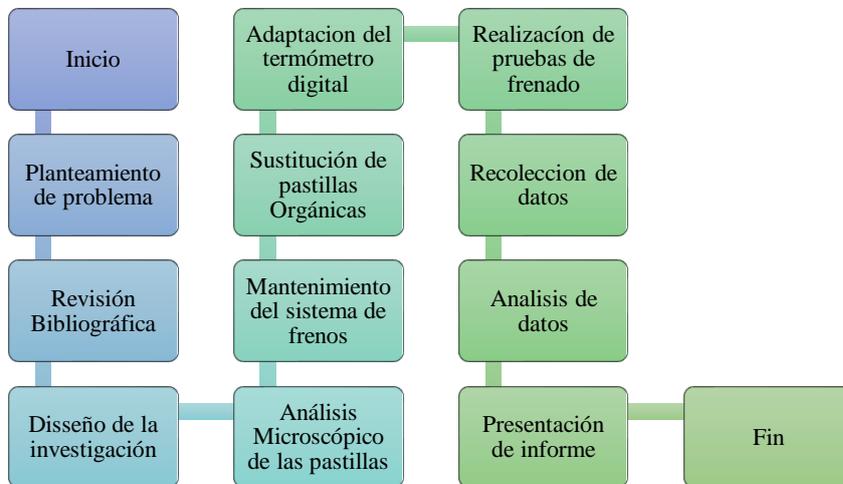


Figura 6-2: Proceso de realización de la investigación.

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

CAPITULO III

3 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los datos obtenidos en la realización de las pruebas están basados en el reglamento ECE 13 – H. con ello se puede determinar el comportamiento térmico de los tres tipos de pastillas de frenos en función de la distancia de frenado.

3.1 Análisis microscópico de las pastillas de freno.

El análisis microscópico de los tres tipos de pastillas de freno utilizados en las pruebas de frenado, se realizó en los laboratorios de Mecánica de la Escuela superior Politécnica de Chimborazo, utilizando un microscopio con el sistema Jeol Eds, para así, determinar la formulación de cada pastilla de freno.

3.1.1 Pastilla orgánica

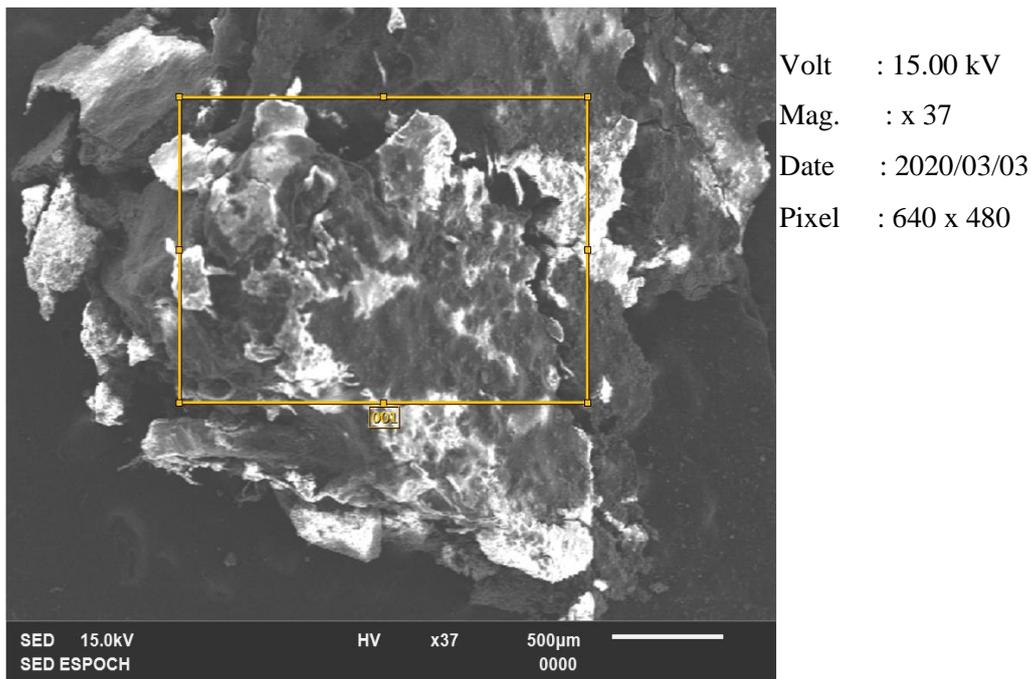


Figura 1-3: Micrografía - pastillas orgánicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

Debido a su alto contenido de materia orgánica y pocos elementos metálicos, estas pastillas son susceptible a un desgaste muchos más rápido, pero a su vez tiene una mayor adherencia.

3.1.2 Pastilla semimetálica

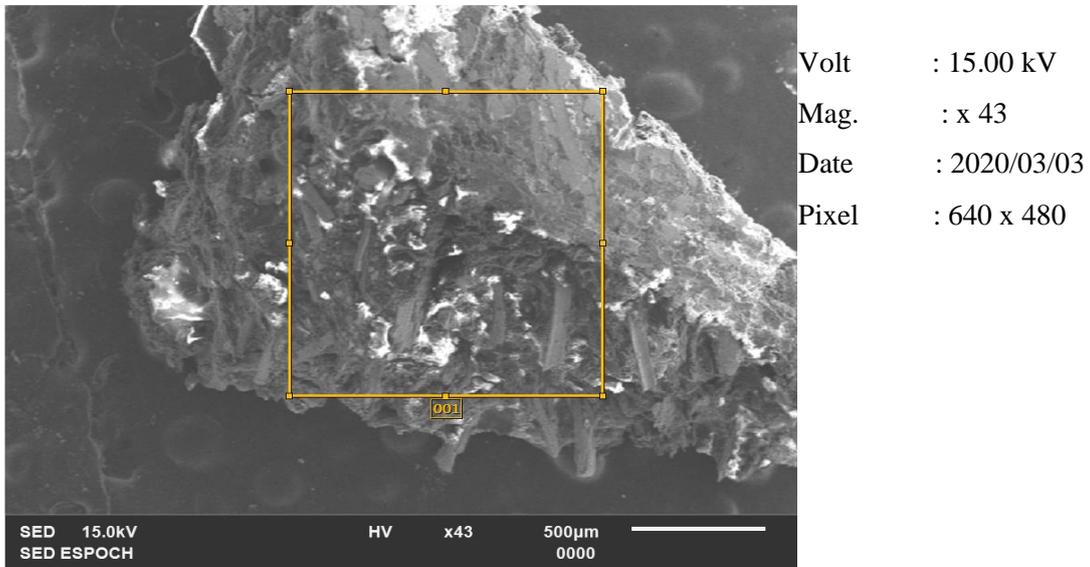


Figura 2-3: Micrografía - pastillas semimetálicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

La micrografía da a conocer un gran porcentaje de hierro (Fe) en su composición, por lo cual se considera una pastilla de tipo Semimetálica, también se observa un porcentaje menor de carbono (C) en comparación a las de tipo orgánicas,

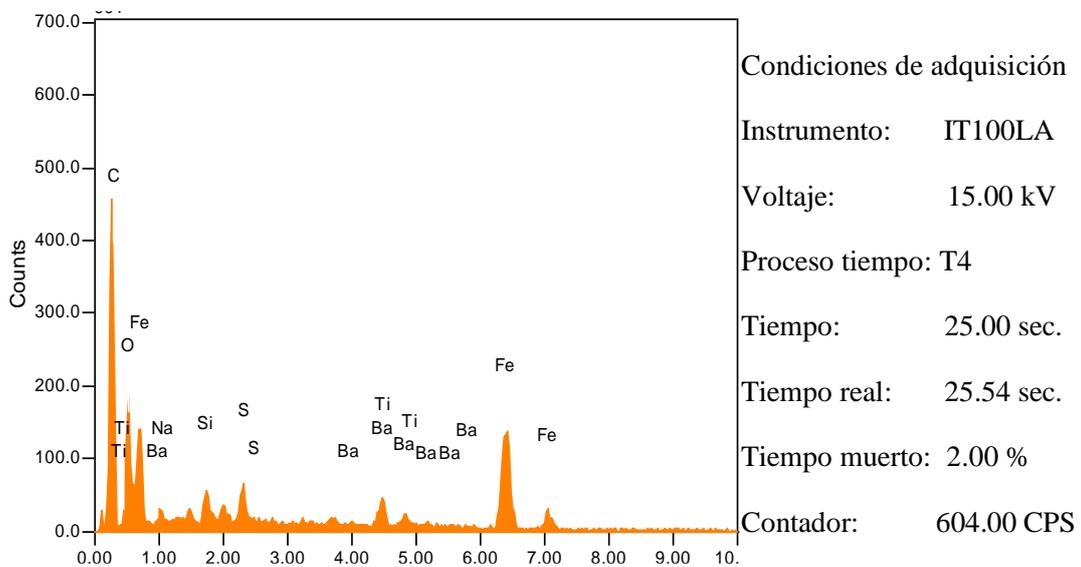


Gráfico 2-3: Composición química de las pastillas semimetálicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En la tabla 2-3 se da a conocer de una manera detallada los elementos que conforman las pastillas de frenos de tipos semimetálicos, debido a su gran concentración de hierro, este tipo de pastillas son más resistentes al desgaste.

Tabla 2-3: Composición química de las pastillas semimetálicas

FORMULA	MASS %	ATOM %	SIGMA	NET	K RATIO	LINE
C	9.55	64.55	0.12	2159	0.0475203	K
O	3.06	15.54	0.08	820	0.0191528	K
Na	0.22	0.79	0.03	110	0.0010752	K
Si	0.34	0.99	0.02	309	0.0025650	K
S	0.50	1.27	0.02	449	0.0048150	K
Ti	0.20	0.35	0.04	88	0.0019272	K
Fe	10.30	14.98	0.12	2099	0.0930246	K

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

3.1.3 Pastilla cerámica

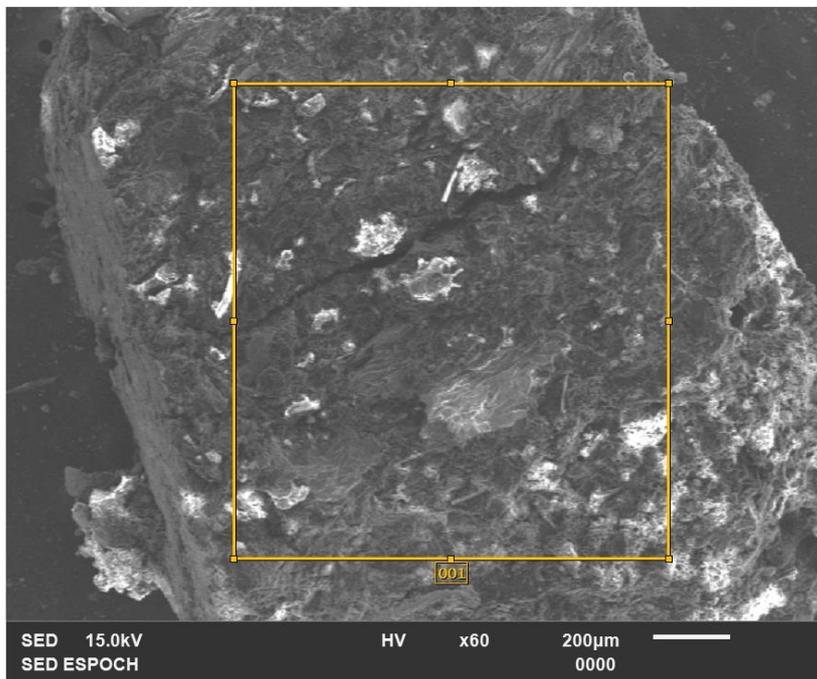
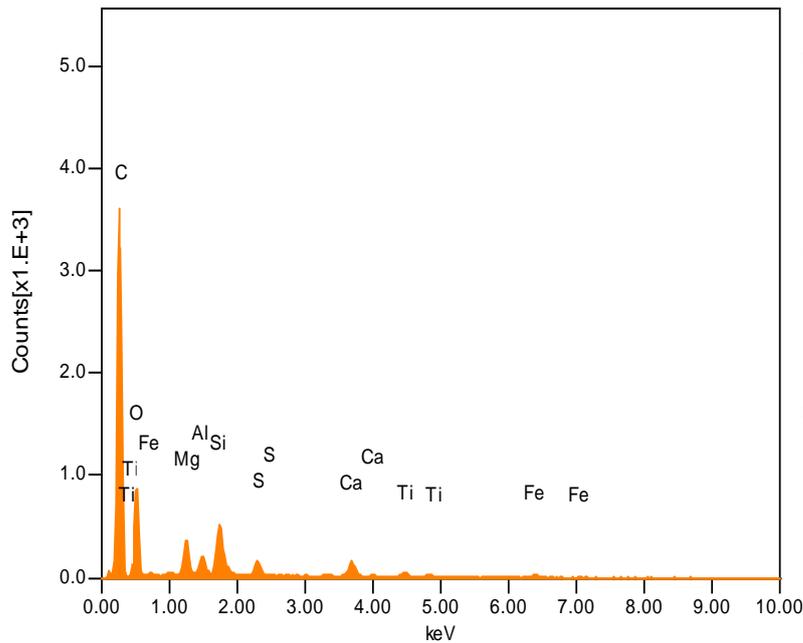


Figura 3-1: Micrografía - pastillas cerámicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En micrografía realizada a las pastillas de frenos de tipo cerámicas se observa un alto contenido de carbono (C), además la composición del silicio (Si) y Magnesio (Mg) son más altas en comparación a los dos tipos de pastillas anteriores.



Condición de Adquisición
 Instrumento: IT100LA
 Voltaje: 15.00 kV
 Proceso tiempo: T4
 Tiempo: 40.00 sec.
 Tiempo real: 41.36 sec.
 Tiempo muerto: 3.00 %
 Contador: 1400.00 CPS

Gráfico 3-3: Composición química de las pastillas cerámicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En la tabla 3-3 se da a conocer el porcentaje de cada uno de los elementos conformantes, la combinación de carbono, magnesio, silicio, aluminio en concentraciones elevadas hacen que este material de fricción sea lo bastante duro, pero tenga un coeficiente de fricción bastante alto.

Tabla 3-1: Composición química de las pastillas cerámicas

FORMULA	MASS %	ATOM %	SIGMA	NET	K RATIO	LINE
C	46.73	71.52	0.21	17900	0.2462682	K
O	20.36	23.39	0.19	4713	0.0688269	K
Mg	1.80	1.36	0.03	2458	0.0115055	K
Al	0.74	0.51	0.02	1194	0.0055838	K
Si	2.00	1.31	0.04	3247	0.0168432	K
S	0.92	0.53	0.02	1327	0.0088905	K
Ca	1.57	0.72	0.04	1550	0.0164319	K
Fe	0,22	0,35	0.03	1235	0.0186913	K
Ti	0.20	0,31	0.15	1270	0.0213095	K

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

3.2 Verificación de las condiciones de las pruebas de frenado.

Las pruebas de frenado se realizaron bajo las condiciones del reglamento ECE 13 – H, para la recolección de datos de la temperatura generada en las pastillas de frenos se realizó mediante la adaptación de un pirómetro. El procedimiento las pruebas se realizó de la siguiente manera:

3.2.1 Preparación del vehículo de pruebas

3.2.1.1 Mantenimiento y cambio de pastillas

El reemplazo de las pastillas no es un proceso complejo, es necesario tener la seguridad y las herramientas necesarias como: gata hidráulica o mecánica, llave de ruedas, llaves mixtas y un destornillador plano, para ello se procederá de la siguiente manera:

- a) Alojarse las tuercas de la rueda, sin terminar de sacarlas, luego girar la dirección hacia el lado que se vaya a sustituir las pastillas.
- b) Elevar el auto con la gata, terminar de sacar las tuercas y retirar la rueda.
- c) Desmontar los pasadores de la pinza de freno y retirarlos.
- d) Con la ayuda de un destornillador extraer las pastillas de freno.
Sustituir las pastillas de tipo orgánicas, semimetálicas o cerámicas; luego colocar la pinza y sus pasadores.
- f) Montar la rueda y colocar las tuercas.
- g) Bajar la gata y ajustar las tuercas.
- h) Repetir el proceso para la sustitución de las demás pastillas de freno.

3.2.1.2 Estado de los neumáticos

Para las pruebas de frenado se utilizó neumáticos nuevos para garantizar una mejor adherencia y por ende una mayor eficiencia de frenado. En la tabla 4-3 se puede observar las características de los neumáticos empleados para las pruebas de frenado.

Tabla 4-3: Características de los neumáticos

Vehículo de Prueba	Marca de neumáticos	Medidas
Chevrolet Aveo Family	Double Coin	195/60R14

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

En el reglamento ECE 13 - H, se da a conocer que la profundidad del labrado no debe ser menor al 50%, en la figura 10-3 se puede observar que la profundidad es de 9 mm, comprobando así que son efectivos para realizar las pruebas.



Figura 4-3: Profundidad de labrado del neumático

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

Según la norma ECE 13 – H, se determina la presión de los neumáticos de acuerdo al fabricante de 32 psi.

3.2.1.3 *Peso en el vehículo*

El vehículo tiene una capacidad de 90% de combustible en su depósito, el peso bruto del vehículo no es ser mayor a 4500 kg, el peso de los ocupantes no excede de los 168 kg y de los equipos con un máximo de 59 kg.

A continuación, se puede observar el peso de cada factor que afecta a la prueba de frenado.

Tabla 5-3: Pesos considerados en el ensayo

Peso Bruto Vehicular (kg)	1410
Capacidad del tanque de combustible (gal)	10
Conductor (kg)	80
Ocupante (kg)	60
Peso auxiliar (kg)	50
Equipos de medición. (kg)	8

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

En la tabla 5-3 se verifica que los pesos no excedan el límite permitido por la norma, esto con el fin de obtener datos de distancia confiables.

3.2.1.4 Seguridad

En la seguridad se tiene aspectos como el estado de la calzada, en caso de que esté presente una superficie mojada tendrá un efecto de deslizamiento, para lo cual se debe esperar hasta tener la calzada completamente seca, esto para que no afecte en la adherencia y por consiguiente a la distancia de frenado.

Se toma en cuenta que las puertas y ventanas estén cerradas completamente, para no afectar a la aerodinámica del automotor en el proceso de frenado. Además, que el vehículo se posiciona en el centro de la calzada para poder maniobrar en caso de perder el control al frenar.

3.2.2 Temperatura ambiente.

La temperatura ambiente se toma con la ayuda de un pirómetro, teniendo en cuenta que el rango este entre 0°C y 40°C con se estipula en la norma ECE 13 - H, se toma una media de 20°C con una variación de 5°C, esto para garantizar que los neumáticos no estén sometidos a temperaturas fuera de rango que modifiquen su comportamiento de trabajo normal.

3.2.3 Temperatura inicial de frenado

Para empezar a realizar los ensayos de la prueba se tiene que calentar los frenos hasta que alcance el rango de 65°C a 100°C, teniendo en cuenta que se ha tomado como referencia 70°C, en la cual se tendrá un margen de error de $\pm 5\%$, como se muestra en la figura 5-3.



Figura 5-3: Temperatura inicial de frenado

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

3.2.4 Calzada

La calzada tiene una longitud de 1600 m y un ancho, distancia suficiente para alcanzar la velocidad deseada sin perder pista. La superficie es de asfalto grueso como se muestra a continuación en la figura 6-3.



Figura 6-3: Calzada de asfalto grueso

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

3.3 Ejecución del ensayo a 100 km/h

Cuando se haya verificado las condiciones para realizar las pruebas se procede a llevar al vehículo a una velocidad de 100 km/h, cuando se alcance la velocidad se coloca la caja de cambios en posición de neutro y se procede a frenar tomando los datos de la distancia de frenado mediante una cinta métrica y la temperatura máxima de frenado mediante el pirómetro, obteniendo así, los datos que se muestran en las tablas 6-3; 7-3; 8-3.

3.3.1 Tabulación de datos.

En las pruebas realizadas se procede a tomar los datos mediante el software Excel, alternando la velocidad entre 100 km/h y 50 km/h según indica la Norma ECE 13 – H.

Para la desaceleración media se utiliza la ecuación (10), teniendo en cuenta que la desaceleración media no debe ser inferior a $6,43 \text{ m/s}^2$, se garantiza que los datos obtenidos de la distancia de frenado estén dentro de las especificaciones de la Norma.

Tabla 6-3: Datos de las pastillas de frenos tipo orgánica.

	Ensayos	Distancia de frenado (m)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura máxima (°C)	Desaceleración (m/s ²)
R1	1	46,33	15,40	66,70	116,30	8,33
	2	44,83	15,70	68,50	121,70	8,61
	3	47,43	15,50	74,80	114,20	8,13
	4	46,63	15,60	67,20	115,30	8,27
	5	47,23	15,80	83,60	114,80	8,17
R2	1	47,83	16,10	68,30	112,50	8,07
	2	46,13	16,90	69,90	116,20	8,36
	3	46,68	15,90	72,30	118,90	8,26
	4	45,93	17,10	68,20	117,30	8,40
	5	44,73	16,70	70,00	123,70	8,62
R3	1	43,63	17,50	65,30	124,65	8,84
	2	45,93	16,90	69,50	116,10	8,40
	3	49,23	17,90	66,90	111,20	7,84
	4	45,03	18,00	71,20	122,40	8,57
	5	45,73	17,60	67,60	115,80	8,44

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 7-3: Datos de las pastillas de frenos tipo semimetálica.

	Ensayos	Distancia de frenado (m)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura máxima (°C)	Desaceleración (m/s ²)
R1	1	55,83	18,60	66,60	130,50	6,91
	2	51,33	19,30	68,50	136,90	5,67
	3	59,33	18,70	70,80	128,80	5,08
	4	52,83	20,60	67,20	134,30	5,55
	5	54,33	21,90	67,60	134,10	5,43
R2	1	57,33	19,70	67,70	130,80	6,73
	2	56,43	18,90	68,50	134,00	5,28
	3	57,13	19,10	71,80	131,30	5,23
	4	52,63	19,90	67,20	139,30	5,57
	5	53,63	20,30	73,40	135,80	5,49
R3	1	53,03	20,50	67,30	135,50	7,27
	2	57,13	19,80	69,60	129,90	5,23
	3	54,93	19,30	73,70	131,20	5,39
	4	50,43	20,10	68,90	139,30	5,75
	5	52,23	19,90	70,60	137,18	5,60

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 8-3: Datos de las pastillas de frenos tipo cerámica.

	Ensayos	Distancia de frenado (m)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura máxima (°C)	Desaceleración (m/s ²)
R1	1	50,93	23,40	70,40	130,90	7,57
	2	53,13	21,90	71,90	126,30	5,53
	3	52,33	22,10	70,00	126,50	5,59
	4	53,63	22,70	69,70	124,70	5,49
	5	54,33	21,80	70,70	123,90	5,43
R2	1	50,43	20,70	70,10	129,70	7,65
	2	51,53	21,30	68,70	127,60	5,66
	3	52,83	20,90	69,80	125,30	5,55
	4	51,93	23,50	70,20	127,10	5,62
	5	49,73	23,70	71,00	132,70	5,81
R3	1	53,63	22,90	69,90	124,30	7,19
	2	48,23	23,20	69,60	137,60	5,94
	3	52,43	21,90	70,30	126,40	5,58
	4	52,21	21,60	70,10	125,60	5,60
	5	51,23	22,00	68,90	124,80	5,71

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Los datos se obtuvieron como se indica en la norma con cinco ensayos como mínimo, y para tener una mayor precisión se procedió a hacer tres repeticiones de las mismas.

3.3.2 Análisis estadístico

3.3.2.1 Comprobación de datos

Los datos individuales obtenidos en las pruebas se analizan mediante la carta de control IM-R para determinar que estén dentro de los límites superior e inferior y así, conocer el rendimiento real y deseado de las pruebas. El límite de especificación para la distancia de frenado según la Norma se obtiene de la ecuación (11)

$$s \leq 0,1v + 0,0060v^2 \text{ m}$$

$$s \leq (0,1 * 100) + (0,0060 * 100^2) \text{ m}$$

$$s \leq 70 \text{ m}$$

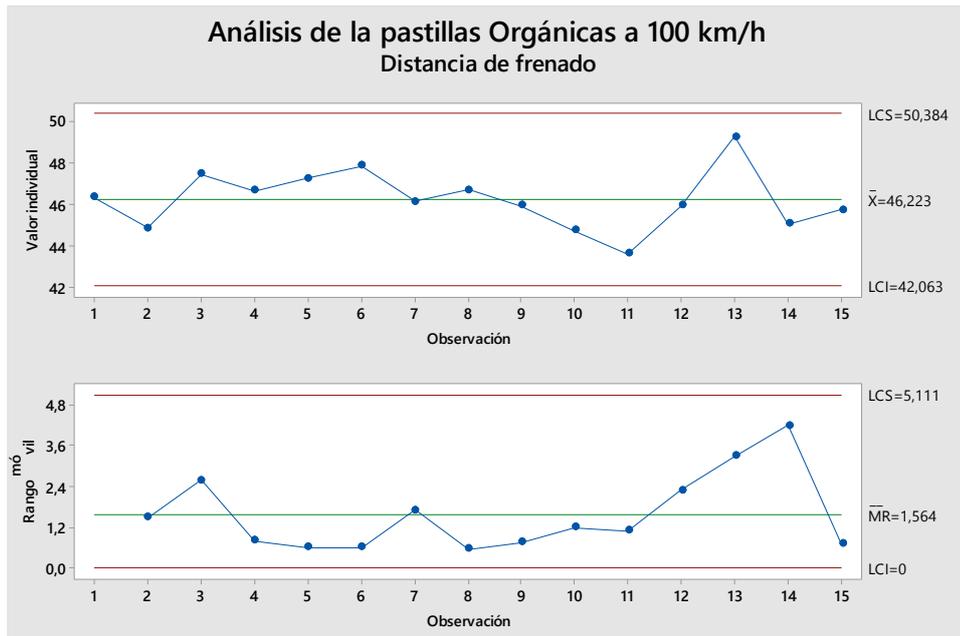


Gráfico 4-3: Distancia de frenado con pastillas orgánicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

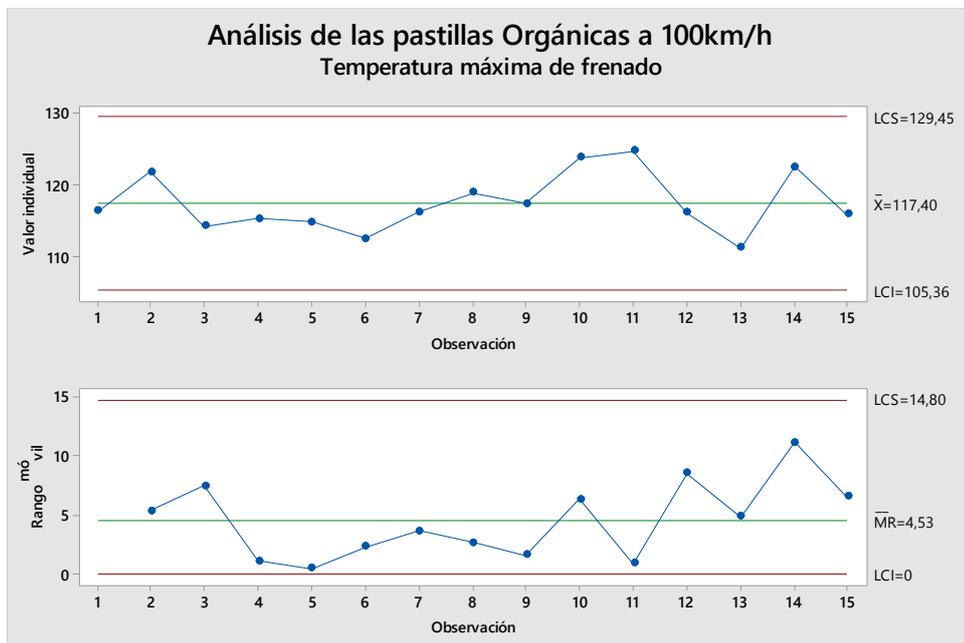


Gráfico 5-3: Temperatura de las pastillas de frenos orgánicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En los gráficos 4-3 y 5-3 se muestra el análisis de los datos para la pastilla de tipo orgánica, se obtiene una media de 46,22 m para la distancia de frenado siendo este el límite de control; y cumpliendo con el límite de especificación de 70 m requerido en la norma ECE 13 – H. Los datos de la temperatura también son validados debido a que se encuentran dentro de los límites de control.

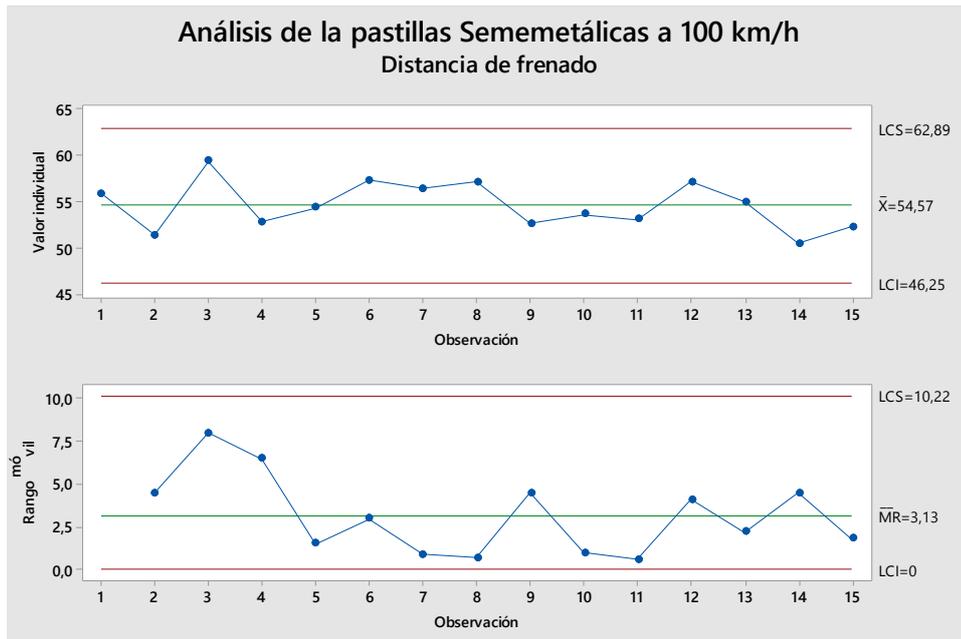


Gráfico 6-3: Distancia de frenado con pastillas semimetálicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

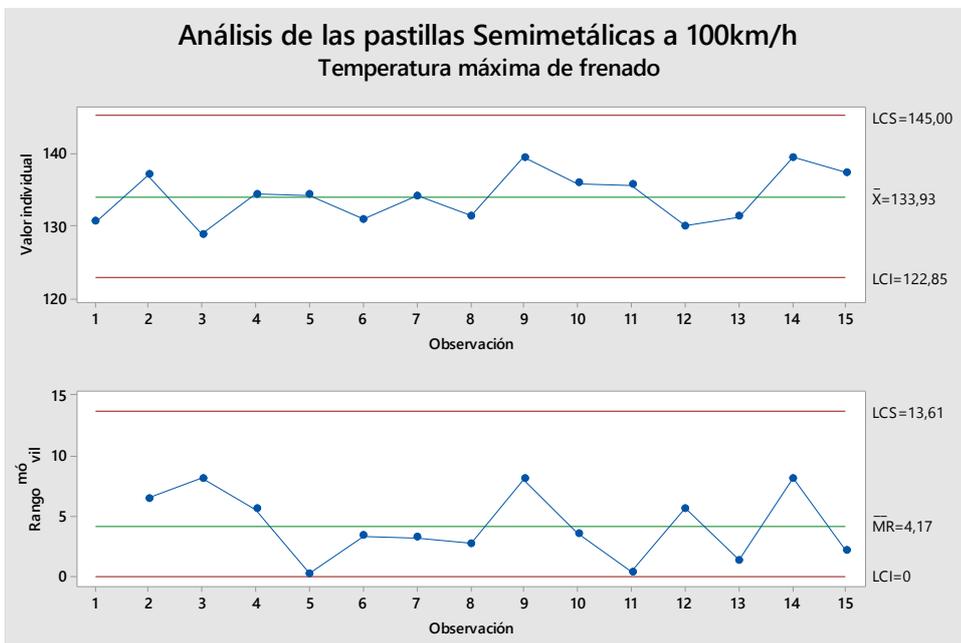


Gráfico 7-3: Temperatura de las pastillas de frenos semimetálicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En los gráficos 6-3 y 7-3 para el caso de la pastilla de tipo semimetálica los datos de distancia de frenado se tiene una media de 54,57 m y para la temperatura generada en las pastillas se tiene una media de 133,33°C, encontrándose dentro de los límites de control, validando así, los datos obtenidos.

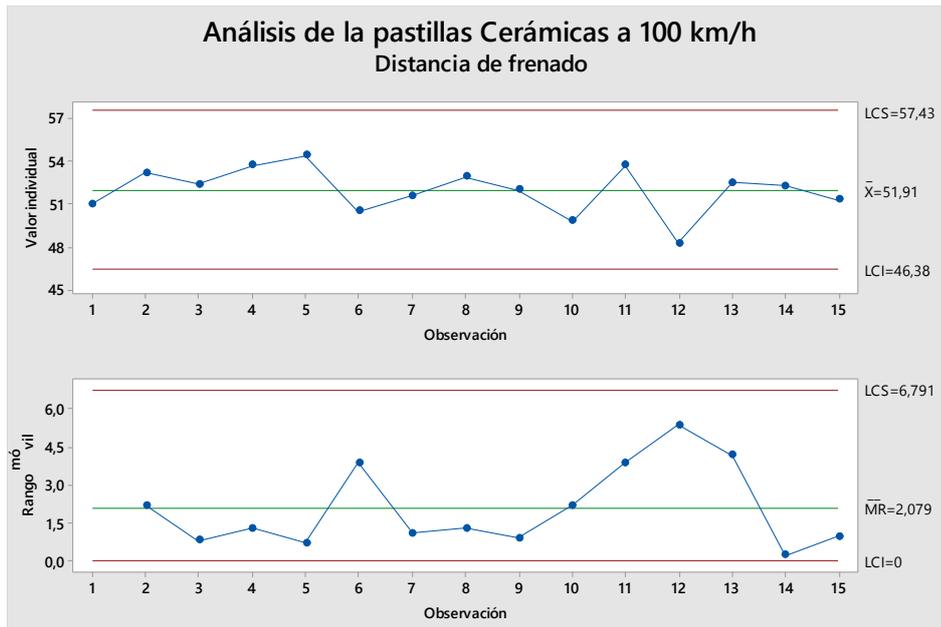


Gráfico 8-3: Distancia de frenado con pastillas cerámicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

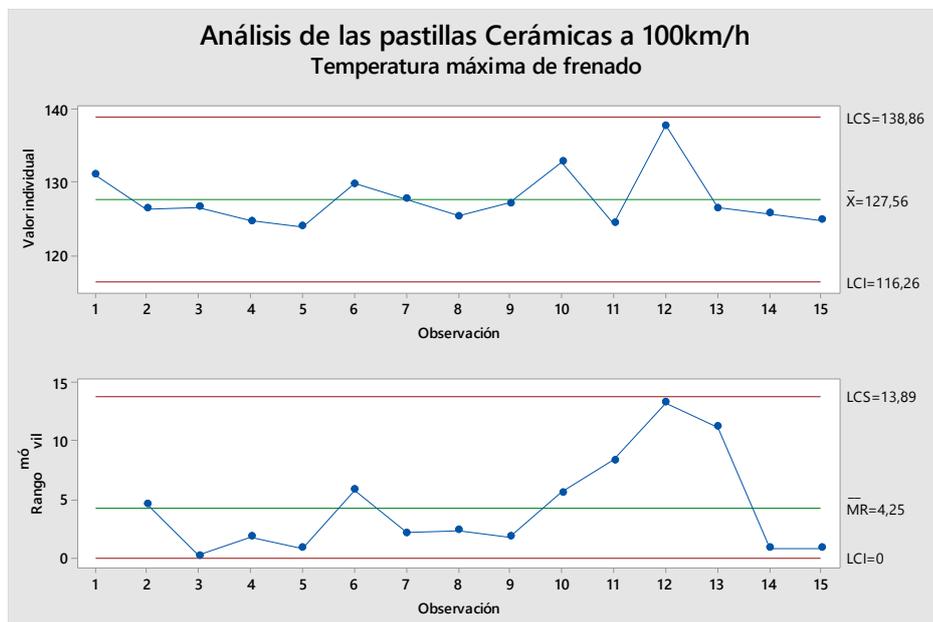


Gráfico 9-3: Temperatura de las pastillas de frenos cerámicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En los gráficos 8-3 y 9-3, se da a conocer los límites de control de la distancia de frenado de 51,91m y de la temperatura máxima de frenado de 127,56°C, teniendo en cuenta que los límites específicos según la norma es de 70 m, entonces, se dice que los datos se encuentran dentro de los límites de control, por lo tanto, están dentro de los límites de especificación.

3.3.2.2 Análisis de varianza

Para determinar que pastilla proporciona una mayor eficiencia de frenado en función de la temperatura se utiliza el análisis de varianza (ADEVA) en el software Infostat, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

Para determinar cuál par de medias son diferentes se utiliza la prueba de comparación múltiple, en el caso de la presente investigación se utiliza el Test de Duncan, para la comprobación de las hipótesis. A continuación, en las tablas 9-3 a 14-3 se detalla el análisis para los distintos tratamientos a una velocidad de 100 km/h

Distancia de frenado.

Tabla 9-3: Muestras Totales

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Distancia de frenado	45	0,78	0,77	3,78

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 10-3: Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	545,63	2	272,81	73,59	<0,0001
Tratamiento	545,63	2	272,81	73,59	<0,0001
Error	155,69	42	3,71		
Total	701,32	44			

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Test: Duncan; Alfa=0,05; Error: 3,7070; gl: 42

Tabla 11-3: Test Duncan para la distancia de frenado

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Orgánicas	46,22	15	0,50	A
Semimetálicas	54,57	15	0,50	C
Cerámicas	51,90	15	0,50	B

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Temperatura Máxima de Frenado

Tabla 12-3: Muestras Totales

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Distancia de frenado	45	0,78	0,77	2,96

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 13-3: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2083,26	2	1041,63	74,60	<0,0001
Tratamiento	2083,26	2	1041,63	74,60	<0,0001
Error	586,44	42	13,96		
Total	2669,70	44			

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Test: Duncan; Alfa=0,05; Error: 13,9628; gl: 42

Tabla 14-3: Test Duncan para Temperatura máxima de frenado

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Orgánicas	117,40	15	0,96	A
Semimetálicas	133,93	15	0,96	C
Cerámicas	127,56	15	0,96	B

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Según el test de Duncan, las letras están definidas según las medias de menor a mayor, además, las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

A continuación, en el gráfico 10-3 con una velocidad inicial de frenado de 100 km/h se muestra las medias de la temperatura en función de las distancias de frenado de los diferentes tipos de pastillas de freno:

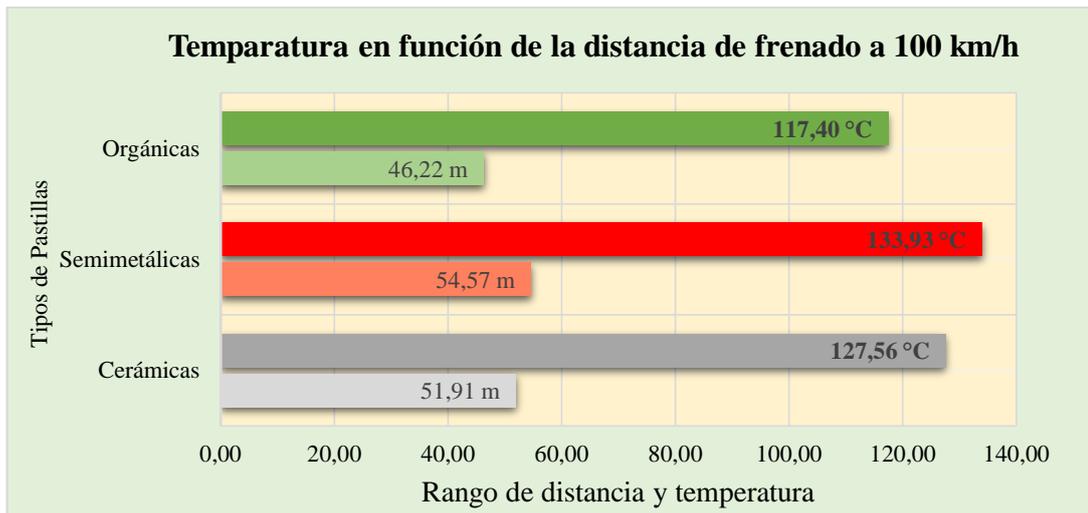


Gráfico 10-3: Resultado de las pruebas a 100 km/h

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

3.4 Desarrollo de los ensayos a 50 km/h



Figura 7-3: Distancia de frenado a 50 km/h

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

3.4.1 Tabulación de datos

La recolección de datos se realizó de manera similar a las pruebas anteriores, como se indicó, cada prueba se alterna entre una velocidad de 100 km/h y 50 km/h, entonces para empezar una nueva prueba es necesario esperar para que la temperatura inicial de frenado este en el rango establecido.

Tabla 15-3: Datos de las pastillas de frenos tipo orgánica.

	Ensayos	Distancia de frenado (m)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura máxima (°C)	Desaceleración (m/s ²)
R1	1	6,80	15,40	72,40	83,10	13,87
	2	6,65	15,70	70,60	82,00	14,50
	3	6,25	15,50	70,30	82,40	15,43
	4	6,75	15,60	69,90	81,90	14,28
	5	6,85	15,80	71,00	82,70	14,08
R2	1	7,65	16,10	69,80	83,60	12,60
	2	6,45	16,90	70,40	82,10	14,95
	3	6,55	15,90	72,00	83,50	14,72
	4	6,85	17,10	70,20	84,00	14,08
	5	7,25	16,70	71,00	83,30	13,30
R3	1	7,75	17,50	71,30	83,70	12,44
	2	7,35	16,90	70,70	82,80	13,12
	3	6,75	17,90	72,05	83,10	14,28
	4	6,45	18,00	70,10	82,50	14,95
	5	6,95	17,60	69,85	83,01	13,87

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 16-3: Datos de las pastillas de frenos tipo semimetálica.

	Ensayos	Distancia de frenado (m)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura máxima (°C)	Desaceleración (m/s ²)
R1	1	5,65	18,70	69,70	81,10	17,07
	2	6,55	19,70	70,90	82,05	14,72
	3	6,15	19,00	71,80	80,70	15,68
	4	5,85	23,10	69,20	82,50	16,48
	5	6,65	22,10	71,60	81,80	14,50
R2	1	6,55	20,10	70,10	80,90	14,72
	2	5,70	19,30	68,50	80,40	16,92
	3	5,55	19,70	69,80	81,20	17,37
	4	6,15	20,20	70,20	80,30	15,68
	5	5,85	20,30	71,60	79,80	16,48
R3	1	5,75	20,50	70,30	81,20	16,77
	2	5,25	20,10	69,50	80,90	18,37
	3	5,85	19,50	70,80	81,20	16,48
	4	6,65	20,00	69,20	79,90	14,50
	5	6,80	20,40	71,60	80,25	14,18

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 17-3: Datos de las pastillas de frenos tipo cerámica.

	Ensayos	Distancia de frenado (m)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura máxima (°C)	Desaceleración (m/s ²)
R1	1	7,73	23,40	70,20	79,30	12,477
	2	8,15	21,90	69,90	78,90	11,834
	3	7,55	22,10	70,15	78,10	12,775
	4	8,00	22,70	70,90	79,10	12,056
	5	7,80	21,80	69,90	78,70	12,365
R2	1	7,25	20,70	70,10	78,90	13,304
	2	7,85	21,30	70,60	79,25	12,287
	3	7,45	20,90	71,30	79,10	12,946
	4	6,65	23,50	70,80	78,90	14,504
	5	7,95	23,70	71,10	78,70	12,132
R3	1	7,25	22,90	69,70	79,05	13,304
	2	7,45	23,20	68,90	79,70	12,946
	3	8,05	21,90	70,60	78,20	11,981
	4	6,90	21,60	69,75	78,60	13,978
	5	7,60	22,00	70,80	79,30	12,691

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

3.4.2 Análisis estadístico

3.4.2.1 Comprobación de datos

Se realiza un análisis de los datos obtenidos mediante la carta de control IM-R en el software Minitab, calculando así, los límites de control para determinar que los datos sean confiables.

El límite de especificación dado por la Norma está determinada por la ecuación (11) que se muestra a continuación:

$$s \leq 0,1v + 0,0060v^2 \text{ m}$$

$$s \leq (0,1 * 50) + (0,0060 * 50^2) \text{ m}$$

$$s \leq 20 \text{ m}$$

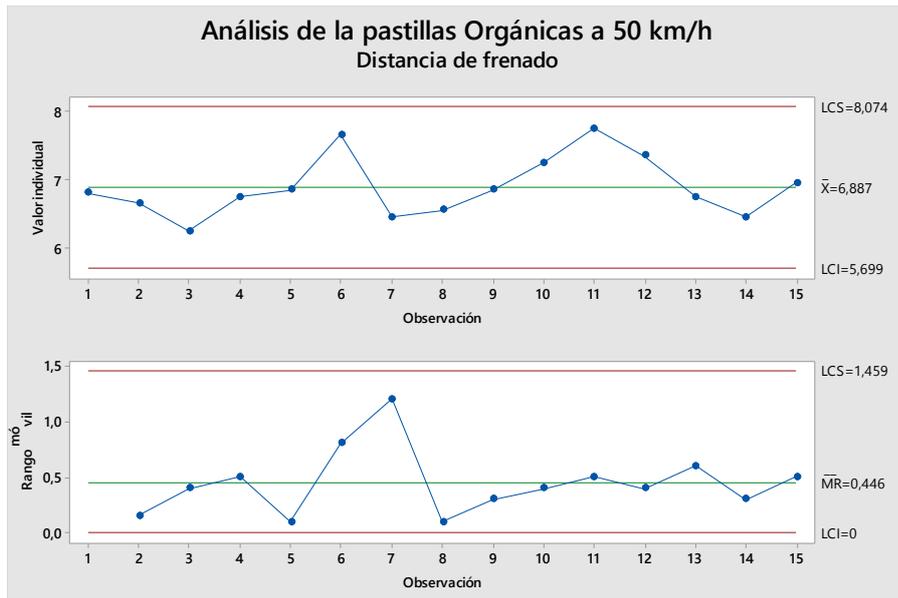


Gráfico 11-3: Distancia de frenado con pastillas orgánicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

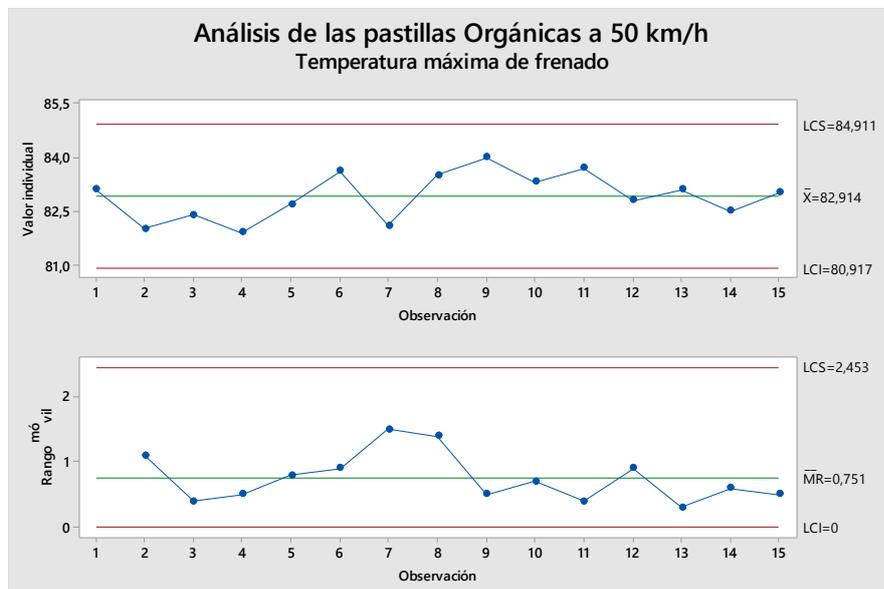


Gráfico 12-3: Temperatura de las pastillas de frenos orgánicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En los gráficos 11-3 y 12-3 se puede evidenciar la media de la distancia de frenado de 6,88 m con un límite de control inferior de 5,69 m y un límite superior de 8,07 m encontrándose estos valores dentro del límite específico dado por la norma de 20 m. Además, la media de la temperatura de 82,91°C se encuentra dentro de los límites de control dados por el software Minitab, validando los datos recolectados en las pruebas de frenado.

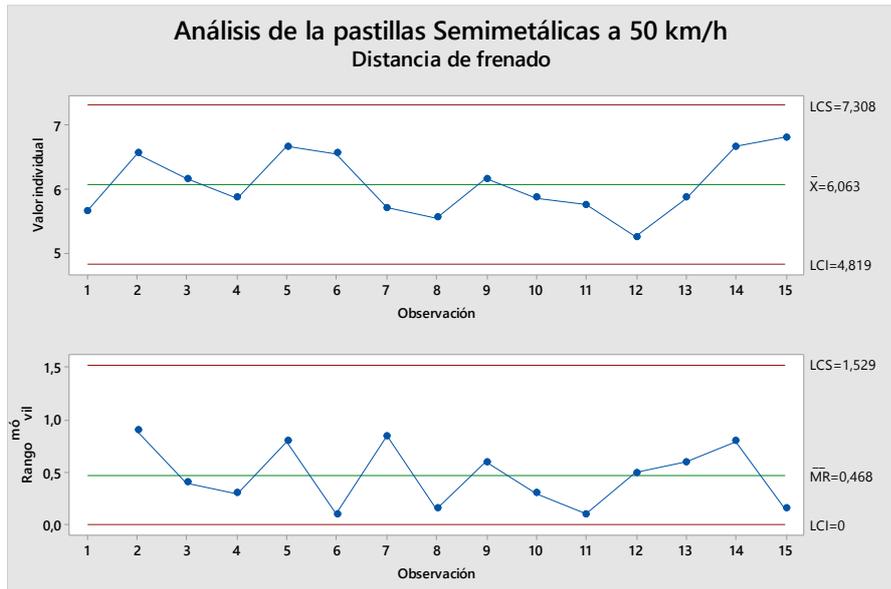


Gráfico 13-3: Distancia de frenado con pastillas semimetálicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

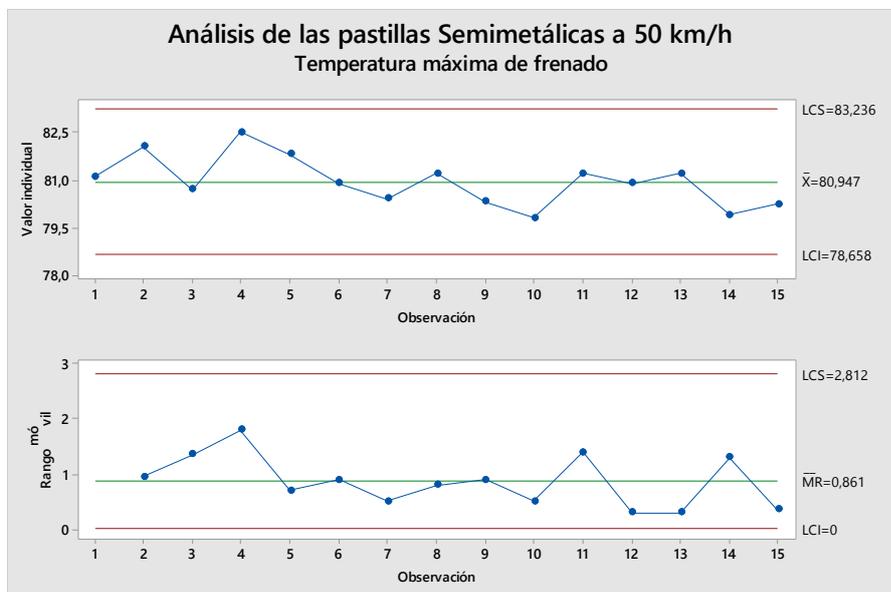


Gráfico 14-3: Temperatura de las pastillas de frenos semimetálicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En los gráficos 13-3 y 14-3 la media de las pastillas tipo semimetálicas de 6,06 m en la distancia de frenado y 80,94°C en la temperatura generada en las pastillas, se validan al encontrarse estos valores dentro de los límites de control, por lo tanto, dentro de los límites específicos entregados por la normativa europea.

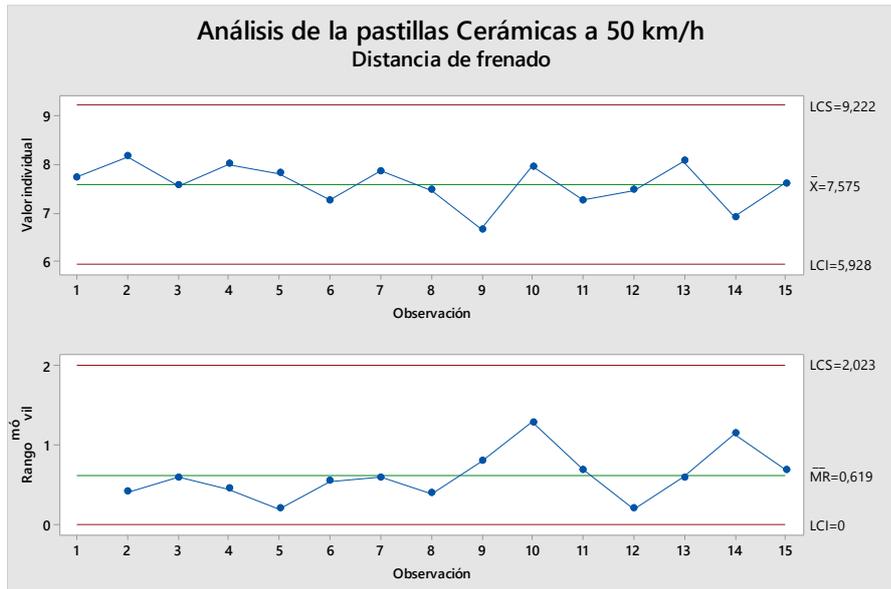


Gráfico 15-3: Distancia de frenado con pastillas cerámicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

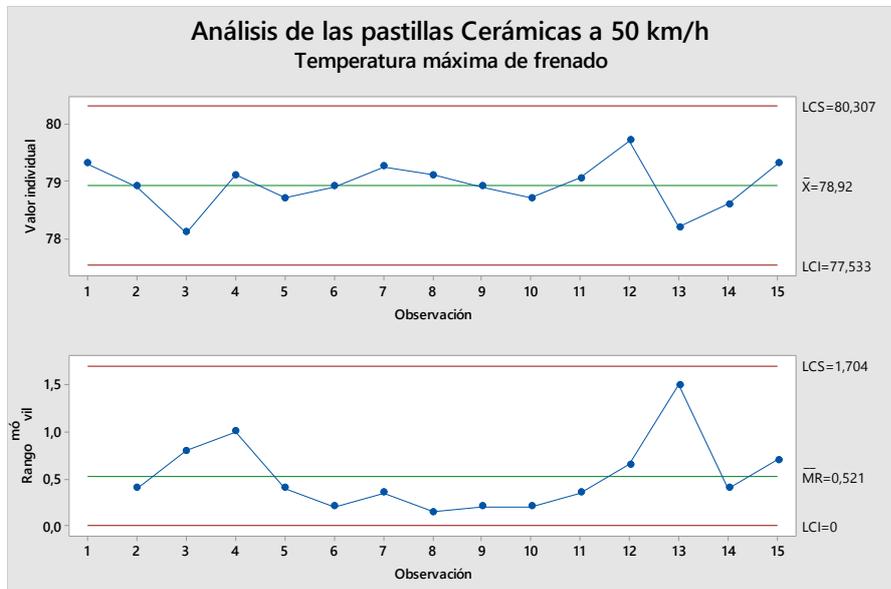


Gráfico 16-3: Temperatura de las pastillas de frenos cerámicas

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

En los gráficos 15-3 y 16-3 puede observar que los datos individuales de la distancia de frenado obtenidos en las pruebas con las pastillas cerámicas están dentro de los límites de control, encontrándose también dentro del límite de especificación impuesto por la norma ECE 13 – H.

3.4.2.2 Análisis de varianza

Distancia de frenado.

Tabla 18-3: Muestras Totales

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Distancia de frenado	45	0,67	0,65	6,55

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 19-3: Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17,19	2	8,60	42,74	<0,0001
Tratamiento	17,19	2	8,60	42,74	<0,0001
Error	8,45	42	0,20		
Total	25,64	44			

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Test: Duncan; Alfa=0,05; Error: 0,2011; gl: 42

Tabla 20-3: Test Duncan para la distancia de frenado

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Orgánicas	6,89	15	0,12	B
Semimetálicas	6,06	15	0,12	A
Cerámicas	7,58	15	0,12	C

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$),

Temperatura Máxima de Frenado

Tabla 21-3: Muestras Totales

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Temperatura Máxima de Frenado	45	0,88	0,87	0,78

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Tabla 22-3: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	119,65	2	59,82	151,45	<0,0001
Tratamiento	119,65	2	59,82	151,45	<0,0001
Error	16,59	42	0,40		
Total	136,24	44			

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Test: Duncan Alfa = 0,05; Error: 0,3950; gl: 42

Tabla 23-3: Test Duncan para Temperatura máxima de frenado

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Orgánicas	82,91	15	0,16	C
Semimetálicas	80,95	15	0,16	B
Cerámicas	78,92	15	0,16	A

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A continuación, en la gráfica 17-3 se muestra las medias de la temperatura en función de las distancias de frenado de los diferentes tipos de pastillas de freno:

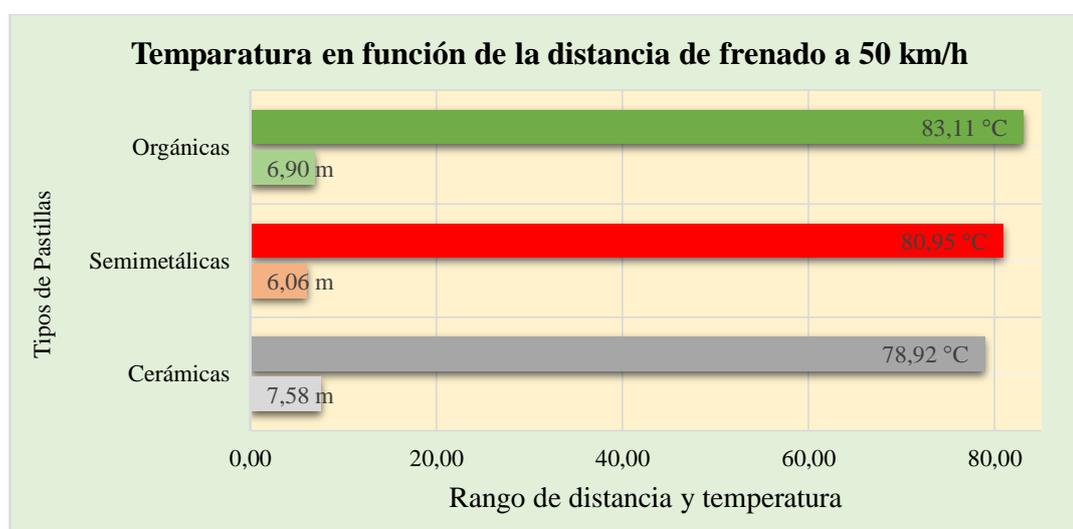


Gráfico 17-3: Resultado de las pruebas a 50 km/h

Fuente: (Muñoz y Calle, 2020)

3.5 Prueba de hipótesis

La comprobación de la hipótesis planteada se hizo a través del test de Duncan.

3.5.1 Modelo matemático

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 = \mu_2 \neq \mu_3$$

3.5.2 Nivel de significancia

El nivel de confianza asignado al trabajo de titulación es de 95%, con un nivel de significancia del 5%

3.5.3 Discusión y decisión

Tabla 24-3: Tabla de resumen

Variables	Velocidad	Orgánicas	Semimetálicas	Cerámicas	E.E	Prob.
Distancia de frenado (m)	50 km/h	6,89 B	6,06 A	7,58 C	0,12	<0,0001
	100 km/h	46,22 A	54,57 C	51,91 B	0,5	<0,0001
Temperatura máxima de frenado (°C)	50 km/h	82,91 C	80,95 B	78,92 A	0,16	<0,0001
	100 km/h	117,40 A	133,93 C	127,56 B	0,96	<0,0001
Variación de Temperatura (°C)		34,49	52,98	48,64		

Fuente: Autores

Realizado por: (Muñoz y Calle, 2020)

3.5.3.1 Discusión

Si observamos la tabla 24-3 se puede evidenciar que las medias de los tratamientos no son homogéneas, por lo tanto, los tres tratamientos son significativamente diferentes con una probabilidad $< 0,0001$ que H_0 sea verdadera.

Las medias al ser diferentes, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) que expresa: “El material de revestimiento de los diferentes tipos de pastillas de freno influye en la temperatura generada en las mismas al momento del frenado.”.

Se observa que la distancia de frenado es inversamente proporcional a la temperatura máxima de frenado. Es decir, que a mayor distancia de frenado la temperatura máxima de frenado es menor.

Según las medias establecidas en la tabla 24-3 obtenidos de ADEVA se evaluará a las pastillas de frenos a una velocidad inicial de frenado de 50 km/h y 100 km/h, para determinar cual tiene un buen comportamiento térmico según la distancia de frenado y así, optar por el tipo de pastilla de freno con un mejor rendimiento.

Las pastillas de tipo orgánicas a 50 km/h, ofrecen una distancia de frenado regular de 6,89 m con una temperatura máxima mala de 82,91°C; a 100 km/h la distancia de frenado es buena de 46,22m con una temperatura máxima igual de buena de 117,40°C, con una variación de temperatura de 34,49 °C.

Las pastillas de tipo semimetálicas a 50 km/h, ofrecen una distancia de frenado buena de 6,06 m con una temperatura máxima regular de 80,95°C; a 100 km/h la distancia de frenado es mala de 54,57 m con una temperatura máxima igual de mala de 133,33°C, con una variación de temperatura de 52,98°C.

Las pastillas de tipo cerámicas a 50 km/h, ofrecen una distancia de frenado mala de 7,58 m con una temperatura máxima buena de 78,92°C; a 100 km/h la distancia de frenado es regular de 51,91m con una temperatura máxima que varía de manera lenta de 127,56°C, su variación térmica es de 48,64°C.

3.5.3.2 Decisión

Para garantizar que no llegue a temperaturas críticas y tiendan a cristalizarse perdiendo así el coeficiente de fricción se debería elegir la pastilla de tipo orgánica que tiene la menor variación de temperatura de 34,49°C, pero debido a sus varias desventajas presentadas en la Tabla 2-, se descarta su selección, Seleccionando así; la pastilla de tipo cerámica que tiene una variación de temperatura de 48,64°C y ofrece mejores prestaciones.

CONCLUSIONES

La micrografía realizada a una muestra de los distintos tratamientos afirma que tienen una composición química diferente, permitiendo avanzar con el experimento en base a normas internacionales.

En el análisis estadístico los valores obtenidos mediante el acople del pirómetro no exceden los límites de control, así mismo, los datos de la distancia de frenado no exceden los límites de control y de especificación, siendo los límites de especificación para el caso de 100 km/h de 70m y para el caso de 50 km/h de 20m, los datos se validan mediante la carta de control de datos individuales I-MR en el software Minitab, deduciendo así que, las pastillas de tipo orgánica, semimetálica y cerámica cumplen con los estándares del Reglamento ECE 13 – H.

Mediante la prueba de comparación múltiple del Test de Duncan se comprueba que los tres tratamientos son significativamente diferentes, obteniendo una probabilidad \leq a 0,001% para la aprobación de la hipótesis nula (H_0); afirmando así, la hipótesis alternativa (H_1), para determinar que tratamiento ofrece una temperatura optima en función de una distancia de frenado eficiente se compara los valores de las medias de los tres tratamientos obtenidos por ADEVA, siendo estos datos fiables y validando el estudio.

Culminado las pruebas y análisis, se determina que las pastillas de tipo orgánica ofrecen un buen rendimiento en cuanto a la temperatura de frenado con una variación mínima de 34,49°C. pero descartando su utilidad debido sus varias desventajas, Seleccionando así, la pastilla de tipo cerámica que tiene una variación en la temperatura de 48,64°C, de esta manera se asegura que las pastillas no se cristalicen y garanticen la seguridad de los ocupantes del vehículo.

RECOMENDACIONES

Hacer una revisión bibliográfica profunda con el fin de seleccionar una metodología adecuada para solucionar el problema planteado en la investigación, así también, conocer las normas nacionales e internacionales vigentes relacionado a la eficiencia de frenado.

Para la ejecución de las pruebas de frenado es importante tener una calzada adecuada, las condiciones climáticas favorables, la temperatura ambiente dentro del rango establecido, los equipos de medición bien colocados, cumpliendo con los requerimientos establecidos en el reglamento ECE 13 – H en la que se encuentra referenciada el RTE INEN 034, para así obtener datos confiables.

Para garantizar la seguridad de los ocupantes como de terceras personas en la calzada que se ejecute las pruebas, es recomendable solicitar a las autoridades competentes el cierre temporal de la vía destinado a los ensayos, fundamentado con el fin investigativo de contribuir a la seguridad del público en general con la selección optima de las pastillas de freno.

Con el fin de obtener datos con precisión se recomienda asentar las pastillas de frenos con un recorrido extenso después de sustituir con los diferentes tipos.

GLOSARIO

ABS: Sistema anti-boqueo de frenos, es un sistema electrohidráulico del automóvil que evita que los neumáticos se bloqueen al momento del frenado. (Viso, 2012)

Análisis de Varianza: Conocido como análisis factorial para el estudio de un uno o varios factores sobre la media de una variable continua. (Joaquin, 2016)

Cartas de control: Son gráficas que proporcionan información mediante la recolección de datos de pruebas realizadas en un laboratorio o el campo. (Delgado, 2019)

Distancia de frenado: Es la distancia que recorre un vehículo desde el momento que los frenos son activados hasta que el vehículo este completamente detenido. (Carnwell, 2019)

Fricción: Es la oposición al movimiento entre dos cuerpos sólidos en contacto o la fuerza de oposición al inicio del movimiento de un cuerpo, toda fuerza de fricción es opuesta a la dirección del movimiento. (Castillo, 2007)

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización, está reconocido por la sociedad ecuatoriana como competente en la ejecución de los procesos establecidos en el Sistema Ecuatoriano de la Calidad. (INEN, 2010)

Mantenimiento: Es verificar que las piezas de un competente funciones correctamente, en caso de no ser así, se reemplaza los componentes deteriorados, garantizando prolongar la vida útil. (Siles, 2012)

Micrografía: Es la ciencia que estudia las características micro estructurales de metales o aleaciones, las cuales están relacionadas con las propiedades químicas y mecánicas. (Metalinspec, 2019)

Pastilla de freno: Se encuentran en el sistema de frenos de disco, recubierta de una capa de material de fricción que entra en contacto con el disco para minorar la velocidad de la rueda. (DRIV, 2020)

Pirómetro: Es un instrumento que se utiliza para medir la temperatura de una superficie a distancia, tienen un rango de temperatura demasiado amplio, que va desde los $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Mecafenix, 2018)

Test de Duncan: Es un procedimiento de comparación múltiple, permite comparar las medias de los diferentes factores después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias obtenido por el análisis de varianza. (Llopis, 2013)

Tribología: Estudia el contacto entre dos superficies en movimiento y los efectos que se producen entre ellos. (Castillo, 2007)

Velocímetro: muestra o indica la velocidad a la que está funcionando el vehículo, es impulsado por un engranaje montado en el extremo posterior del eje de transmisión, el movimiento se transmite al velocímetro por medio de un cable flexible. (Pedro, 2019)

Zapatas: Piezas hechas de metal con una forma curva recubiertas de un material de fricción, entran en contacto con el tambor para reducir la velocidad de la rueda. (DRIV, 2020)

BIBLIOGRAFIA

ÁGUEDA, Eduardo; et al. *Sistema de transmisión y frenado*. 2ª ed. Madrid-España: Paraninfo, 2011. ISBN 978-84-9732-059-7.

BORJA, Carlos; et al. *Sistema de transmisión y frenado*. [En línea]. México: Macmillan profesional, 2008. [Consulta: 27 octubre 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/34209621/Sistema_de_transmision_y_frenado_Grado_Medio_2008_MacMillan_Autosaved

BEHAR RIVERO, Daniel. Metodología de la investigación. [En línea]. Colombia: Shalom, 2008. [Consulta: 23 diciembre 2019]. Disponible en: <http://rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>

CARRANZA, Yamid; & BELTRÁN, Rafael. “Transferencia de calor de estado inestable en forros para frenos”. *researchgate*, [en línea], 2003, (Colombia) (21), pp. 1-6. [Consulta: 20 noviembre 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/274075187_TRANSFERENCE_DE_CALOR_DE_ESTADO_INESTABLE_EN_FORROS_PARA_FRENOS

CEVALLOS, Carlos; & RUIZ, Raúl. Estudio del coeficiente de adherencia de la zona Andina mediante Norma ECE 13 – H [en línea] (Trabajo de titulación). UIDE, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta: 2019-09-09]. Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1330>

CRIADO OCAÑA, Elena. Diseño y cálculo de frenado para un prototipo fórmula student [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Carlos III, Madrid, España. 2012. [Consulta: 2019-11-07]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/30045980.pdf>

DOMÍNGUEZ, Esteban. *Elementos amóviles de la carrocería*. Madrid-España: Editex, 2008. ISBN 978-84-9771-393-1.

ECE 13 – H, 2015. *Reglamento no 13-H de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Disposiciones uniformes sobre la homologación de los vehículos de turismo en lo relativo al frenado [2015/2364]*.

GAIBOR, Roque; & NÚÑEZ, Andrés. Diseño, construcción e implementación de un sistema electrónico de enfriamiento para los discos de freno en un vehículo Chevrolet vitara 3 puertas [en línea] (Trabajo de titulación). ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 2014. [Consulta: 2019-07-31]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3724/1/65T00129.pdf>

GARCÍA, Ricardo. “Estudio térmico en tres frenos de disco ventilados, utilizando el análisis de elementos finitos”. *unal*, [en línea], 2017, (Colombia) 84(200), pp. 19-27. [Consulta: 18 noviembre 2019]. ISSN 2346-2183. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/55663/63524>

GARCIA, Ricardo; & FLÓRES, Edgar. “Estudio analítico de la transferencia de calor por convección que afectan a los frenos de disco ventilados”. *Dialnet*, [en línea], 2016, (Colombia) 20, pp. 15-30. [Consulta: 31 octubre 2019]. ISSN 0123-921X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371474>

GARCIA, Ricardo; et al. “Análisis termodinámico de un disco de freno automotriz con pilares de ventilación tipo NACA 66-209”. *Redicuc*, [en línea], 2018, (Colombia) 14(2), pp. 9-18. [Consulta: 16 octubre 2019]. ISSN 2346-2183. Disponible en: <http://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/2331>

GUARACA, Segundo. Mejora de la productividad, en la sección de prensado de pastillas, mediante el estudio de métodos y la medición del trabajo, de la fábrica de frenos automotrices EGAR S.A [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 2019-09-17]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9118/3/CD-6072.pdf>

MELLENDEZ, Noel; et al. “Análisis y propuesta de solución al calentamiento de un sistema de frenado mediante discos”. *Jóvenes en la ciencia*, [en línea], 2018, (México) 1(2), pp. 1959-1962. [Consulta: 31 octubre 2019]. ISSN 2395-9797. Disponible en: <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/361/pdf1>

NTE INEN 2185, 2016. *Material de fricción para el sistema de frenos de automotores. Requisitos y métodos de ensayo.*

OROZCO CUAUTLE, José. *Reparación del sistema de frenos convencionales y ABS.* Ciudad de México-México: México Digital comunicación, 2008. ISBN 978-970-779-081-4.

POST, Wulf. *Sistemas de freno convencionales y electrónicos: técnica del automóvil.* 3ª ed. Alemania: Reverte, 2003. ISBN 978-84-9732-059-7.

RIVERA GARCÍA, Diego. Cartas de control para datos funcionales [en línea] (Trabajo de titulación). CIMATE, Guanajuato, México. 2011. [Consulta: 2020-02-10]. Disponible en: <https://probayestadistica.cimat.mx/sites/default/files/PDFs/TE446RiveraGarcia.pdf>

RTE INEN 034, 2010. *Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores. Parte 4.3: Frenos.*

TAMAYO NIETO, Luis Bolívar. Estudio de la eficiencia de frenado para valorar pastillas de freno de producción nacional mediante norma ECE 13 – H [en línea] (Trabajo de titulación). UIDE, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta: 2019-07-25]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1052/1/T-UIDE-0854.pdf>

VACA SOLÍS, José. Banco de pruebas para el análisis y comportamiento térmico del sistema de frenos de disco y tambor en automóviles [en línea] (Trabajo de titulación). ESPE, Latacunga, Ecuador. 2014. [Consulta: 2019-07-25]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8198/1/T-ESPEL-MAI-0459.pdf>

VELASTEGUÍ, Andrés. Los Materiales de Fricción y su Influencia en el Sistema de Frenado [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 2019-09-02]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4627>

VENEGAS TORO, William. Análisis por el método de elementos finitos de un disco de freno con sistema de mordaza [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2012. [Consulta: 2019-10-27]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7799>

ANEXOS

ANEXO A: REGLAMENTO N° 13-H DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA DE LAS NACIONES UNIDAS “DISPOSICIONES UNIFORMES SOBRE LA HOMOLOGACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE TURISMO EN LO RELATIVO AL FRENADO”

Reglamento n° 13-H de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Disposiciones uniformes sobre la homologación de los vehículos de turismo en lo relativo al frenado [2015/2364]

15 de junio de 2015

ANEXO 3

ENSAYOS DE FRENADO Y EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE FRENADO

1. ENSAYOS DE FRENADO
 - 1.1. Generalidades
 - 1.1.1. La eficacia prescrita para los sistemas de frenado estará basada en la distancia de frenado y en la deceleración media estabilizada. La eficacia de un sistema de frenado se determinará midiendo la distancia de frenado en relación con la velocidad inicial del vehículo o midiendo durante el ensayo la deceleración media estabilizada.
 - 1.1.2. La distancia de frenado será la distancia recorrida por el vehículo desde el momento en que el conductor accione el mando del sistema de frenado hasta el momento en que el vehículo se detenga. La velocidad inicial será la velocidad en el momento en que el conductor comience a accionar el mando del sistema de frenado. La velocidad inicial no será inferior al 98 % de la velocidad exigida en el ensayo considerado.

La deceleración media estabilizada (d_m) se calculará como la deceleración media en relación con la distancia en el intervalo v_b a v_e , mediante la fórmula siguiente:

$$d_m = \frac{Vb^2 - Vc^2}{25,92(Sc - Sb)}$$

v_o = velocidad inicial del vehículo en km/h

v_b = velocidad del vehículo a 0,8 v_o en km/h

v_e = velocidad del vehículo a 0,1 v_o en km/h

s_b = distancia recorrida entre v_o y v_b en metros

s_e = distancia recorrida entre v_o y v_e en metros.

La velocidad y la distancia se determinarán mediante instrumentación cuya exactitud sea de ± 1 % a la velocidad exigida para el ensayo. La d_m podrá determinarse mediante otros métodos que no sean la medición de la velocidad y la distancia; en tal caso, la exactitud de la d_m será de ± 3 %.

- 1.2. Para la homologación del cualquier vehículo, la eficacia del frenado se determinará en ensayos en pista efectuados en las condiciones siguientes:

- 1.2.1. La masa del vehículo será la determinada en las disposiciones aplicables a cada tipo de ensayo y figurará en el acta del ensayo.
- 1.2.2. El ensayo deberá llevarse a cabo a las velocidades indicadas para cada tipo de ensayo. Cuando la velocidad máxima por fabricación del vehículo sea inferior a la prescrita para un ensayo, éste deberá efectuarse a la velocidad máxima del vehículo.
- 1.2.3. Durante los ensayos, la fuerza ejercida sobre el mando para obtener la eficacia exigida no debe sobrepasar la fuerza máxima establecida.
- 1.2.4. La superficie de la carretera permitirá una adherencia adecuada, a no ser que se especifique de otra manera en los anexos correspondientes.
- 1.2.5. El ensayo se realizará sin que haya viento que pudiera influir en los resultados.
- 1.2.6. Al comienzo de los ensayos los neumáticos deberán estar fríos y a la presión prescrita para la carga efectivamente soportada por las ruedas cuando el vehículo está parado.
- 1.2.7. La eficacia exigida se obtendrá sin bloquear las ruedas a velocidades superiores a 15 km/h, sin que se desvíe el vehículo de un carril de 3,5 m de ancho, sin que se supere un ángulo de guiñada de 15° y sin vibraciones anormales.
- 1.3. Comportamiento del vehículo durante el frenado
 - 1.3.1. Durante los ensayos de frenado, y especialmente en aquellos que se desarrollen a altas velocidades, deberá comprobarse el comportamiento general del vehículo durante el frenado.
- 1.4. Ensayo del tipo 0 (ensayo ordinario de eficacia, con frenos en frío)
 - 1.4.1. Generalidades
 - 1.4.1.1. La temperatura media de los frenos de servicio en el eje más caliente del vehículo, medida dentro de los forros del freno o en el recorrido de frenado del disco o tambor, estará situada entre 65 y 100 °C antes de cualquier accionamiento del freno.
 - 1.4.1.2. El ensayo deberá efectuarse en las condiciones siguientes:
 - 1.4.1.2.1. El vehículo deberá estar cargado, siendo la distribución de la masa entre los ejes la declarada por el fabricante.

En el caso en que estén previstas varias disposiciones de la carga sobre los ejes, la distribución de la masa máxima entre los ejes deberá ser tal que la carga sobre cada eje sea proporcional a la masa máxima admisible por cada eje.
 - 1.4.1.2.2. Todos los ensayos deberán repetirse con el vehículo descargado. Podrá haber, además del conductor, una segunda persona sentada en el asiento delantero y encargada de tomar nota de los resultados del ensayo.
 - 1.4.1.2.4. Los límites prescritos para la eficacia mínima, tanto para los ensayos con el vehículo vacío como los ensayos con el vehículo cargado serán los indicados más adelante. El vehículo deberá cumplir el requisito de la distancia de frenado y la deceleración media estabilizada, pero puede no ser necesario medir realmente ambos parámetros.
 - 1.4.1.2.5. La carretera deberá ser horizontal. A no ser que se especifique otra cosa, cada ensayo consistirá en hasta seis paradas, incluidas las necesarias para la familiarización.
 - 1.4.2. Ensayo del tipo 0 con el motor desembragado y el frenado de servicio según los dispuesto en el punto 2.1.1, letra A, del presente anexo.

2.1.1 letra A

A) Ensayo del tipo 0 con motor desembragado	v $s \leq$ $d_m \geq$	100 km/h $0,1 v + 0,0060 v^2$ (m) 6,43 m/s ²
---	-------------------------------	---

El ensayo deberá llevarse a cabo a la velocidad indicada, aunque se admitirá un cierto margen de tolerancia con respecto a las cifras establecidas. Se deberá conseguir la eficacia mínima prescrita.

- 1.4.3. Ensayo del tipo 0 con el motor embragado y el frenado de servicio según los dispuesto en el punto 2.1.1, letra B del presente anexo

2.1.1 letra B

B) Ensayo del tipo 0 con motor embragado	v $s \leq$ $d_m \geq$	80 % $v_{m\acute{a}x} \leq 160$ km/h $0,1 v + 0,0067 v^2$ (m) 5,76 m/s ²
--	-------------------------------	---

- 1.4.3.1. El ensayo se realizará con el motor embragado a partir de la velocidad exigida en el punto 2.1.1, letra B, del presente anexo. Se deberá conseguir la eficacia mínima prescrita. No se realizará este ensayo si la velocidad máxima del vehículo es ≤ 125 km/h.

- 1.4.3.2. Se medirán los valores de la eficacia práctica máxima y el comportamiento del vehículo se ajustará a lo indicado en el punto 1.3.2 del presente anexo. No obstante, si la velocidad máxima del vehículo es superior a 200 km/h, la velocidad de ensayo será de 160 km/h.

- 1.5. Ensayo del tipo I (ensayo de pérdida y recuperación de eficacia)

- 1.5.1. Procedimiento de calentamiento

- 1.5.1.1. Los frenos de servicio de todos los vehículos se ensayarán accionando y soltando sucesivamente los frenos una serie de veces con el vehículo cargado y en las condiciones indicadas en el cuadro siguiente:

CONDICIONES

v_1 (km/h)	v_2 (km/h)	Δt (s)	n
80 % $v_{m\acute{a}x} \leq 120$	0,5 v_1	45	15

siendo:

v_1 = velocidad inicial al principio del frenado

v_2 = velocidad al final del frenado

$v_{m\acute{a}x}$ = velocidad máxima del vehículo

n = número de accionamientos del freno

Δt = duración de un ciclo de frenado: tiempo transcurrido entre el comienzo de un frenado y el comienzo del siguiente.

- 1.5.1.2. Si las características del vehículo impiden ajustarse a la duración exigida para Δt , se podrá aumentar la duración. En cualquier caso, y además del tiempo necesario para el frenado y la aceleración del vehículo, se dispondrá de 10 s por cada ciclo de frenado con el fin de estabilizar la velocidad v_1 .

- 1.5.1.3. Para la realización de estos ensayos, la fuerza ejercida sobre el mando deberá ajustarse de modo que en cada accionamiento del freno se alcance una deceleración

media estabilizada de 3 m/s². Se podrán efectuar dos ensayos previos para determinar la fuerza adecuada sobre el mando.

- 1.5.1.4. Durante los frenados, deberá mantenerse engranada la relación más alta de la caja de cambios (con exclusión de la superdirecta, etc.).
- 1.5.1.5. Para ganar velocidad después de cada frenado, el cambio de marchas deberá utilizarse de modo que la velocidad v_1 se alcance lo antes posible (aceleración máxima permitida por el motor y la caja de cambios).
- 1.5.1.6. En el caso de vehículos sin la autonomía suficiente para completar los ciclos de calentamiento, los ensayos se realizarán alcanzando la velocidad prescrita antes del primer accionamiento del freno, a continuación, usando la máxima aceleración disponible para recuperar velocidad y luego frenando sucesivamente a la velocidad alcanzada al final de cada ciclo de 45 s de duración.

1.5.2. Eficacia en caliente

- 1.5.2.1. Una vez finalizado el ensayo del tipo I (descrito en el punto 1.5.1 del presente anexo), se procederá a medir la eficacia en caliente del sistema de frenado de servicio en condiciones iguales (y en particular ejerciendo sobre el mando una fuerza media inferior a la fuerza media realmente aplicada) a las del ensayo del tipo 0 con motor desembragado (pudiendo ser diferentes las condiciones de temperatura).
- 1.5.2.2. La eficacia en caliente no será inferior al 75 % ⁽²⁾ de lo exigido, ni inferior al 60 % de la cifra registrada en el ensayo del tipo 0 con el motor desembragado.
- 1.5.2.3. En los vehículos equipados con un sistema de frenado eléctrico con recuperación de energía de la categoría A, durante los accionamientos del freno estará engranada constantemente la marcha más elevada y no se utilizará, si lo hay, el mando independiente del frenado eléctrico.
- 1.5.2.4. En el caso de los vehículos equipados con un sistema de frenado eléctrico con recuperación de energía de la categoría B, una vez realizados los ciclos de calentamiento con arreglo al punto 1.5.1.6 del presente anexo, el ensayo de eficacia en caliente se efectuará a la máxima velocidad que pueda alcanzar el vehículo al final de los ciclos de calentamiento, a no ser que pueda obtenerse la velocidad especificada en el punto 2.1.1, letra A, del presente anexo.

A efectos de comparación, se repetirá un ensayo del tipo 0 con los frenos en frío a partir de esta misma velocidad y con una contribución del frenado eléctrico con recuperación de energía, garantizada por un estado de carga adecuado de la batería, que sea similar al disponible durante el ensayo de eficacia en caliente.

Tras el proceso y el ensayo de recuperación, se permitirá el reacondicionamiento de los forros antes de que se efectúe el ensayo para comparar esta segunda eficacia en frío con la conseguida en el ensayo en caliente, en función de los criterios de los puntos 1.5.2.2 o 1.5.2.5 del presente anexo.

Los ensayos podrán realizarse sin componentes de recuperación de energía. En ese caso, no procederá aplicar el requisito relativo al estado de carga de las baterías.

- 1.5.2.5. En caso de un vehículo que cumpla el requisito del 60 % especificado en el punto 1.5.2.2 del presente anexo, pero no el requisito del 75 % ⁽²⁾ indicado en ese mismo punto 1.5.2.2, podrá efectuarse un nuevo ensayo de eficacia en caliente ejerciendo sobre el mando una fuerza no superior a la especificada en el punto 2 del presente anexo. En el acta del ensayo se indicarán los resultados de ambos ensayos.

2. EFICACIA DE LOS SISTEMAS DE FRENADO

2.1. Sistema de frenado de servicio

2.1.1. Los frenos de servicio se ensayarán en las condiciones indicadas en este cuadro:

A) Ensayo del tipo 0 con motor desembragado	v $s \leq$ $d_m \geq$	100 km/h $0,1 v + 0,0060 v^2$ (m) $6,43 \text{ m/s}^2$
B) Ensayo del tipo 0 con motor embragado	v $s \leq$ $d_m \geq$	$80 \% v_{\text{máx}} \leq 160 \text{ km/h}$ $0,1 v + 0,0067 v^2$ (m) $5,76 \text{ m/s}^2$
	f	6,5 - 50 daN

Siendo:

v = velocidad de ensayo en km/h

s = distancia de frenado en metros

d_m = deceleración media estabilizada en m/s^2

f = fuerza ejercida sobre el pedal del freno en daN

$v_{\text{máx}}$ = velocidad máxima del vehículo en km/h.

3. TIEMPO DE RESPUESTA

3.1. En todo vehículo en el que el sistema de frenado de servicio dependa total o parcialmente de una fuente de energía que no sea la del esfuerzo muscular del conductor, deberán cumplirse las condiciones siguientes:

3.1.1. En una maniobra de emergencia, el tiempo que transcurra entre el momento en que el dispositivo de mando comience a ser accionado y el momento en que la fuerza de frenado sobre el eje situado en la posición más desfavorable alcance el nivel correspondiente a la eficacia prescrita no deberá ser superior a 0,6 s.

3.1.2. En el caso de vehículos equipados con sistemas de frenado hidráulicos, se considerarán cumplidas las condiciones del punto 3.1.1 si, al realizar una maniobra de emergencia, la deceleración del vehículo o la presión en el cilindro de freno situado en la posición más desfavorable alcanzan, en 0,6 s, el nivel correspondiente a la eficacia prescrita.

Regulación ECE 13 – H completa, referente a los ensayos de frenado disponible en:

<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>

ANEXO B: RTE INEN 034 "ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES"



REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 034:2010
Segunda revisión

“ELEMENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES”

4.3. FRENOS

4.3.1. Los vehículos automotores que correspondan a la categoría L conforme a la norma NTE INEN 2656 deben contar como mínimo de dos sistemas de frenado, uno que actúe sobre la rueda o ruedas delanteras y otro que actúe sobre la rueda o ruedas posteriores.

4.3.2. Los frenos de los vehículos deben cumplir con lo establecido en la Reglamentación Técnica No. 13-H de la ONU - “UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF PASSENGER CARS WITH REGARD TO BRAKING”- “Disposiciones uniformes sobre la aprobación de los vehículos automóviles de pasajeros en lo relativo al frenado” vigente en su última versión para el cual fue homologado el modelo en un laboratorio acreditado para certificar el reglamento técnico ONU mencionado. Este requisito afecta a las categorías de vehículos que la reglamentación mencionada indica en su texto.

4.3.3. Los vehículos automotores de cuatro ruedas deben disponer de frenos ABS, conforme con lo que establezca la Reglamentación Técnica No. 13-H de la ONU, aplicada a los vehículos que la regulación indica en su texto.

ANEXO C: NTE INEN 2185 “MATERIAL DE FRICCIÓN PARA EL SISTEMA DE FRENOS DE AUTOMOTORES, REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO”



**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 2185
Cuarta revisión
2017-03

MATERIAL DE FRICCIÓN PARA EL SISTEMA DE FRENOS DE AUTOMOTORES. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO

4. CLASIFICACIÓN

Los materiales de fricción se clasifican en:

4.1 De acuerdo al coeficiente de fricción (μ) y en base a la letra del código establecido en la Tabla 1:

TABLA 1. Código de clasificación de los materiales de fricción

Letra del código	Coefficiente de fricción
C	$\mu \leq 0,15$
D	$0,15 < \mu \leq 0,25$
E	$0,25 < \mu \leq 0,35$
F	$0,35 < \mu \leq 0,45$
G	$0,45 < \mu \leq 0,55$
H	$\mu > 0,55$
Z	Sin clasificación

4.2 De acuerdo a su aplicación:

- pastillas,
- bandas,
- bloques.

ANEXO D: ANUARIO AEADE, CIFRAS DE VEHICULOS VENDIDOS EN ECUADOR



ECUADOR			
Marca	Unidades 2017	Unidades 2018	%Participación 2018
CHEVROLET	41.101	45.605	33,1%
KIA	18.223	23.141	16,8%
HYUNDAI	9.443	13.568	9,9%
OTRAS	36.310	55.301	40,2%
TOTAL	105.077	137.615	100,0%

Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).

Principales modelos Chevrolet vendidos En unidades, 2017-2018		
Modelo	2017	2018
NUEVO SAIL	6.060	8.738
AVEO FAMILY 1.5L STD	6.629	6.976
SPARK GT AC 1.2 5P 4X2 TM	-	3.507
D-MAX CRDI STD 3.0 CD 4X2 TM DIESEL	3.090	3.030
SCROSS AC 1.6 5P 4X2 TM	1.488	2.808

Anuario completo: <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2019/03/Anuario%202018.pdf>

ANEXO E: FOTOGRAFÍAS

Vehículo de pruebas



Extracción de las ruedas



Limpieza del Sistema de Frenos



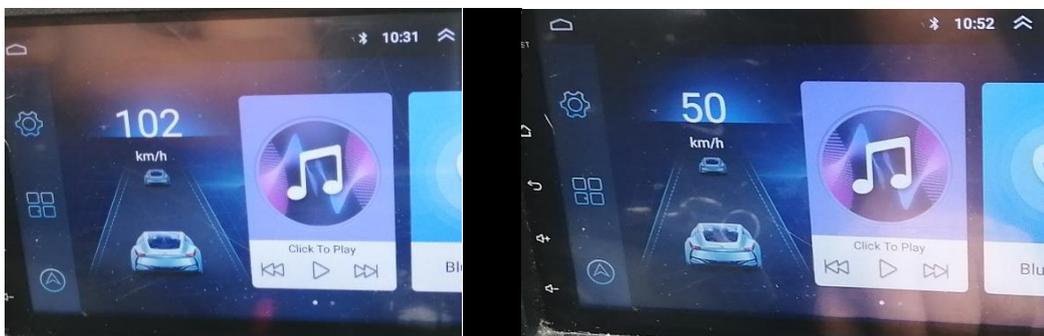
Sustitución de pastillas de freno



Coordenadas de la calzada



Información de velocidad



Medición de la distancia de frenado a 50 km/h



Medición de la distancia de frenado a 50 km/h

